



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CÓRDOBA**

Departamento de Aeronáutica



Obtención y análisis de mapas estratégicos de ruido aeroportuario y medidas de mitigación acústicas en función de distintas variables operativas

Autor: Ezequiel Martinez

Director: MSA Ing. C. Alejandro Di Bernardi

Co-director: MSC Ing. Matias Coppa

Director interno: Ing. Jorge García



AÑO 2019

“Recordar siempre que la guerra, la avaricia, la miseria y la ignorancia junto con los desastres naturales y la contaminación y destrucción de los recursos inducidos por la actividad humana, son las principales causas del deterioro progresivo del entorno y que los ingenieros, como miembros activos de la sociedad, profundamente involucrados en la promoción del desarrollo, deben usar su talento, conocimiento e imaginación para ayudar a la sociedad a eliminar los mencionados males y mejorar la calidad de vida para toda la gente.”

Conclusión, Modelo FMOI del Código Ético

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es fiel reflejo de lo que ha supuesto mi paso por la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Una etapa llena de grandes retos e ilusiones, en la que palabras como esfuerzo, trabajo y sacrificio han pasado de ser meras definiciones a realidades diarias.

Me gustaría dedicar unas palabras de agradecimiento a todas aquellas personas que de alguna manera han contribuido a que hoy esté un poco más cerca de ser Ingeniero Aeronáutico.

En el ámbito profesional:

Al MSA Ing. Alejandro Di Bernardi, director de esta tesis de grado, por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi trabajo final en el Grupo de Transporte Aéreo (GTA). Por el apoyo que me ha brindado, su confianza y por su calidad humana y profesional de las cuales muchos deberíamos aprender.

Al Ingeniero Matías Coppa, mi codirector, por su dedicación y paciencia desde el inicio de este trabajo atendiendo cada una de mis dudas e inquietudes.

A mis compañeros del GTA, por recibirme y haber creado el mejor y más estimulante ambiente para el trabajo. Especialmente a Ezequiel, Mauro y Franklin por brindarme su amistad.

A mi director interno, el Ingeniero Jorge García, por ser el nexo entre las dos universidades y por su destacable trayectoria como docente en el Departamento de Aeronáutica.

Asimismo, quiero destacar que para la realización de este trabajo conté con el apoyo del Programa de Calidad Universitaria del Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Nación, por el cual se me otorgó una beca de movilidad en el marco del Sistema Nacional de Reconocimiento Académico.

En el ámbito personal:

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por darme constancia en el cumplimiento de mis obligaciones, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres, Antonio y Clelia, especialmente a mi amada madre, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá, donde sea que estés, te doy las gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti. Es por ello que esta tesis esta especialmente dedicada a vos.

A mi querido hermano Carlos, por afrontar y superar juntos los desafíos que nos presentó la vida. Por estar conmigo, apoyarme siempre y ayudarme a alcanzar mi sueño.

A mi tía Telma y a mi abuela Teresa, por quererme y preocuparse siempre por mí, esto también se lo debo a ustedes.

A mi novia Carla, esa persona que estuvo apoyándome en cada decisión que tomara, que tuvo paciencia y entrega, la cual ha estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos de mi vida. A esa persona le agradezco, porque gracias a ti hoy puedo con alegría presentar y disfrutar esta tesis. Te lo agradezco muchísimo, amor.

A mis amigos, en el lugar del mundo en el que se encuentren, por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

A todos los que me alentaron en los momentos de angustia y desasosiego, a los que creyeron profundamente en mí y también a los que no. Ustedes saben quiénes son.

Ezequiel Martinez

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. TEMA	11
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo general	11
2.2. Objetivos específicos	11
3. ALCANCE	11
4. INTRODUCCIÓN.....	13
4.1. Problemática actual	13
4.2. Transporte aéreo y desarrollo sostenible	14
4.3. Ruido	16
4.3.1. Conceptos básicos	16
4.3.2. Definición y clasificación	19
4.3.3. Medición del ruido	20
4.3.4. Índices de valoración del ruido ambiental	22
4.3.4.1. Nivel de presión sonora continuo equivalente (Leq)	22
4.3.4.2. Nivel de ruido percibido PNdB	23
4.3.4.3. Nivel de exposición sonora (SEL)	23
4.3.4.4. Nivel sonoro corregido día-noche (LDN)	24
4.3.4.5. ¿Existe una métrica ideal?	24
4.4. Ruido aeronáutico	26
4.4.1. Descripción	26
4.4.2. Características	27
4.5. Mapas estratégicos de ruido	29
4.6. Exposición al ruido.....	30
4.6.1. Factores de Riesgo	30
4.6.2. Anatomía del Oído Humano	31
4.6.3. Pérdida de la audición inducida por ruido	32
4.6.4. Efectos sobre la salud	34
4.7. Normativa de Referencia.....	35
4.7.1. A nivel internacional.....	35
4.7.2. A nivel nacional.....	37

4.8. Medidas de mitigación	38
4.8.1.Reducción de ruido en la fuente	39
4.8.2.Procedimientos operativos	41
4.8.2.1.Procedimiento de despegue Standard.....	41
4.8.2.2.Procedimientos de atenuación de ruido en despegue	42
4.8.2.3.Procedimientos de aterrizaje	45
4.8.3.Uso de suelo	47
4.8.4.Restricción de operaciones	48
4.8.5.Otras medidas de control	49
5. DESARROLLO	51
5.1. Proceso metodológico	51
5.2. Condiciones de contorno.....	52
5.3. Hipótesis	53
5.4. Criterio de análisis.....	54
5.5. Sistema Nacional Aeroportuario	55
5.5.1.Selección de aeropuertos	57
5.5.1.1.Filtro N°1: Información disponible	57
5.5.1.2.Filtro N°2: Poblaciones cercanas	57
5.5.1.3.Filtro N°3: Tipo de actividad	58
5.5.1.4.Filtro N°4: Número de pasajeros	58
5.5.1.5.Filtro N°5: Cantidad de operaciones	58
5.5.2.Descripción general de los aeropuertos seleccionados.....	59
5.5.2.1.Aeropuerto de Mendoza.....	59
5.5.2.2.Aeropuerto de Salta	61
5.5.2.3.Aeropuerto de Mar del Plata	63
5.5.2.4.Aeropuerto de Río Gallegos	65
5.5.2.5.Aeropuerto de Jujuy.....	66
5.5.3.Tablas y gráficos comparativos de los aeropuertos bajo análisis .	68
5.6. Mezcla de tráfico.....	70
5.7. Condición de máximo desarrollo aeroportuario.....	72
6. RESULTADOS.....	76
6.1. Obtención y análisis de los mapas estratégicos de ruido para cada aeropuerto en función de distintas condiciones operativas	76
6.1.1.Análisis con métrica DNL.....	76

6.1.1.1. En función del tipo de procedimiento de despegue	76
6.1.1.2. En función del tipo de operaciones	92
6.1.1.3. En función de la trayectoria de ruta de despegue	93
6.1.2. Análisis con métrica SEL	95
6.1.2.1. Análisis complementarios en el Aeropuerto de Mendoza	95
6.1.2.1.1. En función de distintos modelos de aeronaves propuestos	98
6.1.2.1.2. En función del peso al despegue de la aeronave seleccionada	105
6.1.2.1.3. En función del tipo de motor utilizado por la aeronave seleccionada	109
7. CONCLUSIONES	117
7.1. Generalidades	117
7.2. Respecto a variables operativas utilizando una métrica DNL	118
7.3. Respecto a variables operativas utilizando una métrica SEL	121
7.4. Conclusiones y recomendaciones integrales	124
7.5. Conclusiones y recomendaciones globales	125
8. BIBLIOGRAFÍA	126

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CRECIMIENTO DEL TRÁFICO DE PASAJEROS BAJO DISTINTOS ESCENARIOS DE DEMANDA	14
FIGURA 2. REPRESENTACIÓN DE UNA ONDA SONORA	16
FIGURA 3. RELACIÓN NIVEL DE PRESIÓN SONORA μPa – dB	18
FIGURA 4. PROCESO DE PERCEPCIÓN AUDITIVA	19
FIGURA 5. CURVAS DE AUDICIÓN DE FLETCHER Y MUNSON	20
FIGURA 6. RESPUESTA DE FRECUENCIAS A DISTINTAS REDES DE PONDERACIÓN	21
FIGURA 7. PORCENTAJE DE MOLESTIA VS NIVELES DE RUIDO DNL DE AERONAVES, TRÁFICO VEHICULAR Y FERROVIARIO	25
FIGURA 8. PRINCIPALES FUENTES DE RUIDO DE UN AVIÓN DURANTE EL ATERRIZAJE	27
FIGURA 9. PATRÓN DE RESPUESTA DIRECCIONAL VS PATRÓN DE IRRADIACIÓN	28
FIGURA 10. EJEMPLO DE PROPAGACIÓN ESFÉRICA EN CAMPO LIBRE	29
FIGURA 11. MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO. AEROPUERTO DE IBIZA, ESPAÑA	30
FIGURA 12. ANATOMÍA DEL OÍDO HUMANO	32
FIGURA 13. CÉLULAS CILIADAS	33
FIGURA 14. EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD	34
FIGURA 15. EJEMPLO AERONAVES CAPÍTULO 2	36
FIGURA 16. EJEMPLO AERONAVES CAPÍTULO 3	36

FIGURA 17. EJEMPLO AERONAVES CAPÍTULO 4.	36
FIGURA 18. PUNTOS DE MEDICIÓN PARA CERTIFICACIONES ACÚSTICAS DE AERONAVES	37
FIGURA 19. HUSH-KIT EN EL MOTOR DE UNA AERONAVE SUD AVIATION CARAVELLE	39
FIGURA 20. CHEVRONS EN EL MOTOR DE UNA AERONAVE BOEING 787.....	40
FIGURA 21. ETAPAS DE UN PERFIL DE DESPEGUE STANDARD	42
FIGURA 22. PERFIL DE DESPEGUE OACI-A	43
FIGURA 23. PERFIL DE DESPEGUE OACI-B	44
FIGURA 24. PERFILES DE DESPEGUE OACI-A Y OACI-B	45
FIGURA 25. DISTINTAS CONFIGURACIONES DE ATERRIZAJE	46
FIGURA 26. PROCESO METODOLÓGICO.....	52
FIGURA 27. SISTEMA NACIONAL DE AEROPUERTOS (SNA)	56
FIGURA 28. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MENDOZA	59
FIGURA 29. CARACTERÍSTICAS AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MENDOZA	60
FIGURA 30. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTAS - MDZ.....	60
FIGURA 31. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE SALTA	61
FIGURA 32. CARACTERÍSTICAS AEROPUERTO INTERNACIONAL DE SALTA.....	61
FIGURA 33. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTAS - SLA.....	62
FIGURA 34. AEROPUERTO DE SALTA. HUNDIMIENTOS EN CABECERA 24.....	62
FIGURA 35. NIVELES DE RUIDO EXCESIVOS. EJIDO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE SALTA.....	63
FIGURA 36. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MAR DEL PLATA	64
FIGURA 37. CARACTERÍSTICAS AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MAR DEL PLATA	64
FIGURA 38. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTAS - MDQ.....	64
FIGURA 39. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE RIO GALLEGOS.....	65
FIGURA 40. CARACTERÍSTICAS AEROPUERTO INTERNACIONAL DE RIO GALLEGOS	66
FIGURA 41. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTAS - RGL	66
FIGURA 42. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE JUJUY.....	67
FIGURA 43. CARACTERÍSTICAS AEROPUERTO INTERNACIONAL DE JUJUY	67
FIGURA 44. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTAS - JUJ	68
FIGURA 45. GRÁFICO - CANTIDAD DE PASAJEROS POR AÑO.....	69
FIGURA 46. GRÁFICO - CANTIDAD DE OPERACIONES POR AÑO.....	69
FIGURA 47. PERFIL DIARIO DE OPERACIONES EN EL AEROPUERTO DE MENDOZA.....	70
FIGURA 48. PERFIL DIARIO DE OPERACIONES EN EL AEROPUERTO DE SALTA.....	71
FIGURA 49. PERFIL DIARIO DE OPERACIONES EN EL AEROPUERTO DE MAR DEL PLATA	71
FIGURA 50. PERFIL DIARIO DE OPERACIONES EN EL AEROPUERTO DE JUJUY	71
FIGURA 51. PERFIL DIARIO DE OPERACIONES EN EL AEROPUERTO DE RÍO GALLEGOS	71
FIGURA 52. CANTIDAD DE OPERACIONES POR FABRICANTE EN EL DÍA ANALIZADO	72
FIGURA 53. COMPARACIÓN PERFIL DIARIO DE OPERACIONES. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MENDOZA	73
FIGURA 54. COMPARACIÓN PERFIL DIARIO DE OPERACIONES. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE SALTA	74
FIGURA 55. COMPARACIÓN PERFIL DIARIO DE OPERACIONES. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MAR DEL PLATA.....	74
FIGURA 56. COMPARACIÓN PERFIL DIARIO DE OPERACIONES. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE JUJUY.....	74
FIGURA 57. COMPARACIÓN PERFIL DIARIO DE OPERACIONES. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE RÍO GALLEGOS.....	74
FIGURA 58. CRECIMIENTO DEL ENTORNO AEROPORTUARIO - MDZ. IZQ: ESCENARIO 2009. DER: ESCENARIO 2019	77
FIGURA 59. CRECIMIENTO DEL ENTORNO AEROPORTUARIO - SLA. IZQ: ESCENARIO 2008. DER: ESCENARIO 2018.....	80
FIGURA 60. CRECIMIENTO DEL ENTORNO AEROPORTUARIO - MDQ. IZQ: ESCENARIO 2008. DER: ESCENARIO 2018	82
FIGURA 61. CRECIMIENTO DEL ENTORNO AEROPORTUARIO - JUJ. IZQ: ESCENARIO 2008. DER: ESCENARIO 2018.....	85
FIGURA 62. CRECIMIENTO DEL ENTORNO AEROPORTUARIO - RGL. IZQ: ESCENARIO 2003. DER: ESCENARIO 2018	87
FIGURA 63. COMPARACIÓN DE LAS IMPRESIONES ACÚSTICAS ENTRE LOS DISTINTOS AEROPUERTOS ANALIZADOS.....	92
FIGURA 64. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MENDOZA. PISTA 18. TRAYECTORIAS DE DESPEGUE	93
FIGURA 65. OPERACIONES POR AERONAVES - AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MENDOZA.....	96
FIGURA 66. AIRBUS A320 DE LATAM - CARACTERÍSTICAS GENERALES	97
FIGURA 67. EMBRAER 190AR DE AUSTRAL	97
FIGURA 68. PRESENTACIÓN DEL EMBRAER 195-E2 EN SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 7 DE MARZO DE 2017.	100

FIGURA 69. BOEING 737-800NG DE AEROLÍNEAS ARGENTINAS.....	101
FIGURA 70. BOEING 737 MAX8 DE AEROLÍNEAS ARGENTINAS.....	102
FIGURA 71. AIRBUS A320-200 DE LAN	103
FIGURA 72. PRIMERA AERONAVE DE LA SERIE A320NEO ENTREGADA A LUFTHANSA	104
FIGURA 73. MOTOR PW1900G BAJO EL ALA DE UNA AERONAVE E190-E2.....	109
FIGURA 74. MOTOR LEAP1-B BAJO EL ALA DE UNA AERONAVE B737 MAX 8	110
FIGURA 75. MOTOR CFM56-5B.....	111
FIGURA 76. MOTOR CF34-10E7	113
FIGURA 77. MOTOR CF34-10E7, HITOS OPERACIONALES	114
FIGURA 78. ÁREA AFECTADA EN FUNCIÓN DEL MTOW DE CADA AERONAVE.....	121
FIGURA 79. ÁREA AFECTADA EN FUNCIÓN DEL PESO AL DESPEGUE - EMBRAER 195-E2	122
FIGURA 80. ÁREA AFECTADA EN FUNCIÓN DEL MODELO DE MOTOR.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. VALORES CRÍTICOS DE RUIDO	34
TABLA 2. AEROPUERTOS GRUPO A	56
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS AEROPUERTOS BAJO ESTUDIO. ESCENARIO 2017	68
TABLA 4. MOVIMIENTOS DE AERONAVES EN EL DÍA PICO	70
TABLA 5. CANTIDAD DE OPERACIONES POR FABRICANTE – DÍA PICO.....	72
TABLA 6. CANTIDAD DE OPERACIONES DIARIAS SITUACIÓN ACTUAL (2017) – MÁXIMO DESARROLLO.....	73
TABLA 7. OPERACIONES POR TIPO DE AERONAVE – MDZ TABLA 8. OPERACIONES POR TIPO DE AERONAVE – SLA	75
TABLA 9. OPERACIONES POR TIPO DE AERONAVE - MDQ TABLA 10. OPERACIONES POR TIPO DE AERONAVE – JUJ	75
TABLA 11. OPERACIONES POR TIPO DE AERONAVE - RGL	75
TABLA 12. CANTIDAD DE PERSONAS AFECTADAS POR AEROPUERTO Y ESCENARIO ANALIZADO.	90
TABLA 13. OPERACIONES NOCTURNAS POR AEROPUERTO.....	93
TABLA 14. NÚMERO DE PERSONAS AFECTADAS POR TIPO DE TRAYECTORIA DE DESPEGUE – MDZ.....	95
TABLA 15. OPERACIONES POR AERONAVES - AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MENDOZA	96
TABLA 16. ÁREA AFECTADA POR TIPO DE AERONAVE - AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MENDOZA	105
TABLA 17. ÁREA ALCANZADA EN FUNCIÓN DEL PESO AL DESPEGUE – EMBRAER 195-E2 – MDZ	108
TABLA 18. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - MOTORES PW1900G Y LEAP1-B	110
TABLA 19. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - MOTOR CFM56-5B.....	112
TABLA 20. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS - MOTOR CF34-10E7	114

MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO

MAPA 1. POBLACIÓN AFECTADA. PISTA 18. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD- MDZ	78
MAPA 2. AEROPUERTO DE MENDOZA. PISTA 18. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD	78
MAPA 3. AEROPUERTO DE MENDOZA. PISTA 18. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-A	79
MAPA 4. AEROPUERTO DE MENDOZA. PISTA 18. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-B	79
MAPA 5. POBLACIÓN AFECTADA. PISTA 02. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – SLA.....	80
MAPA 6. AEROPUERTO DE SALTA. PISTA 02. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD	81
MAPA 7. AEROPUERTO DE SALTA. PISTA 02. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-A	81
MAPA 8. AEROPUERTO DE SALTA. PISTA 02. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-B	82
MAPA 9. POBLACIÓN AFECTADA. PISTA 13. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – MDQ.....	83
MAPA 10. AEROPUERTO DE MAR DEL PLATA. PISTA 13. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD	83
MAPA 11. AEROPUERTO DE MAR DEL PLATA. PISTA 13. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-A.....	84

MAPA 12. AEROPUERTO DE MAR DEL PLATA. PISTA 13. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-B	84
MAPA 13. POBLACIÓN AFECTADA. PISTA 34. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – JUJ	85
MAPA 14. AEROPUERTO DE JUJUY. PISTA 34. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD	86
MAPA 15. AEROPUERTO DE JUJUY. PISTA 34. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-A.....	86
MAPA 16. AEROPUERTO DE JUJUY. PISTA 34. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-B.....	87
MAPA 17. POBLACIÓN AFECTADA. PISTA 07. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – RGL	88
MAPA 18. AEROPUERTO DE RÍO GALLEGOS. PISTA 07. ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD	88
MAPA 19. AEROPUERTO DE RÍO GALLEGOS. PISTA 07. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-A.....	89
MAPA 20. AEROPUERTO DE RÍO GALLEGOS. PISTA 07. ATERRIZAJE STANDARD Y DESPEGUE OACI-B	89
MAPA 21. DETALLE DE LAS CURVAS DE RUIDO - PROCEDIMIENTOS DE DESPEGUE - PISTA 13 - MDQ.....	91
MAPA 22. DETALLE DE LAS CURVAS DE RUIDO - PROCEDIMIENTOS DE DESPEGUE - PISTA 34 - JUJ	91
MAPA 23. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MENDOZA - PISTA 18 - TRAYECTORIA DE DESPEGUE RECTA	94
MAPA 24. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE MENDOZA - PISTA 18 - TRAYECTORIA DE DESPEGUE ALTERNATIVA	94
MAPA 25. EMBRAER 190AR - PISTA 18 – ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – MDZ	99
MAPA 26. EMBRAER 195-E2 – PISTA 18 – ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – MDZ	100
MAPA 27. BOEING 737-800NG – PISTA 18 – ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – MDZ.....	101
MAPA 28. BOEING 737 MAX8 – ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – MDZ.....	102
MAPA 29. AIRBUS A320-200 – ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – MDZ	103
MAPA 30. AIRBUS A320NEO – ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – MDZ.....	104
MAPA 31. EMBRAER 195-E2 – TOW DE REFERENCIA	106
MAPA 32. EMBRAER 195-E2 - TOW N°1	106
MAPA 33. EMBRAER 195-E2 - TOW N°2	107
MAPA 34. EMBRAER 195-E2 - TOW N°3	107
MAPA 35. EMBRAER 195-E2 - ÁREA ALCANZADA EN FUNCIÓN DEL PESO AL DESPEGUE	108
MAPA 36. EMBRAER 195-E2 CON MOTOR LEAP1-B – ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – PISTA 18 – MDZ	111
MAPA 37. EMBRAER 195-E2 CON MOTOR CFM56-5B – ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – PISTA 18 – MDZ.....	113
MAPA 38. EMBRAER 195-E2 CON MOTOR CF34-10E7 – ATERRIZAJE Y DESPEGUE STANDARD – PISTA 18 – MDZ	115
MAPA 39. EMBRAER 195-E2 - ÁREA ALCANZADA EN FUNCIÓN DEL MOTOR UTILIZADO – PISTA 18 – MDZ.....	115

1. Tema

Obtención y análisis de mapas estratégicos de ruido aeroportuario y medidas de mitigación acústicas en función de distintas variables operativas.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar los niveles de ruido producido por las operaciones de aeronaves en el entorno de los aeropuertos y cuantificar la población alcanzada mediante la construcción de mapas estratégicos de ruido, con el fin de proponer medidas de mitigación operacionales tendientes a reducir la afectación acústica que estas operaciones producen sobre la población.

2.2. Objetivos específicos

En el marco del objetivo general y en concordancia con el propósito de esta tesis, los objetivos específicos son:

- Exponer los principales elementos teóricos que describen el ruido de las aeronaves.
- Brindar una herramienta adicional para estudios de impacto ambiental y planificación urbana.
- Estudiar directivas, reglamentos, políticas y regulaciones nacionales e internacionales relacionados con el ruido de aeronaves.
- Implementar el software AEDT para la modelación del impacto acústico de aeronaves para entornos aeroportuarios.

3. Alcance

A través del presente estudio y mediante la aplicación de una métrica acumulada del Nivel Día-Noche (DNL), se identifica el número de personas afectadas por niveles de ruido superiores a 65 dB, límite máximo estipulado por norma (FAR Part 150 [1]) luego del cual comienzan a presentarse

incompatibilidades entre el aeropuerto y ciertos usos del suelo. Con ese fin, se obtienen las huellas acústicas producidas por la operación de las aeronaves en los aeropuertos seleccionados, correspondientes a su etapa de máximo desarrollo mediante la implementación de un software de simulación. Luego, se contrastan los resultados con datos censales del entorno que circunda al aeropuerto para poder estimar la población alcanzada.

Mediante la implementación de nuevos procedimientos operativos basados en modificaciones en las etapas de aproximación y despegue de las aeronaves, se obtienen nuevas huellas acústicas y se caracteriza la población alcanzada. Además, se analiza la influencia de las operaciones nocturnas en la curva de ruido de un aeropuerto y se propone una trayectoria de despegue alternativa. En el caso de una aeronave en particular, se estudia la influencia del peso al despegue de la aeronave en el nivel de ruido producido y se caracteriza la emisión de ruido modificando el modelo de motor.

Finalmente, en base a la comparación de los resultados obtenidos, se evalúa la efectividad de las medidas de mitigación propuestas y se obtienen conclusiones.

La información técnica generada, sumado al conocimiento del aeropuerto y el análisis del entorno, otorgan las bases para establecer nuevos procedimientos de operación los cuales contribuyen a disminuir el impacto acústico y a definir una correcta política del uso de suelo alrededor del aeropuerto.

4. Introducción

4.1. Problemática actual

El ruido es una de las mayores amenazas para la aviación en la actualidad. El crecimiento proyectado de la demanda de viajes aéreos significa que tendremos un mayor número de operaciones en el futuro.

Los costos de la mayoría de las formas de mitigación del ruido están aumentando rápidamente. Estos incluyen insonorización, compras de tierras, reubicaciones, cambios en el uso de la tierra, desvío de tierras impactadas y construcción de instalaciones de aviación alternativas. La percepción de la gente de lo que es un nivel aceptable de ruido urbano es cada vez más crítica, mientras que su oportunidad de alejarse voluntariamente de ese ruido es cada vez más limitada.

Todo esto está provocando fuertes presiones sobre los operadores de aeropuertos para imponer restricciones operativas, toques de queda, limitaciones de crecimiento y otras restricciones severas en sus aeropuertos como soluciones sencillas y "únicas" al problema del ruido.

El alivio de estas presiones sobre los operadores de aeropuertos y la preservación de un sistema nacional de aeropuertos requiere que la aviación sea lo más compatible posible con sus vecinos. Esto requiere que los operadores aeroportuarios trabajen mucho más estrechamente con las jurisdicciones locales de lo que ha sido generalmente factible en el pasado, ya que controlan la mayoría de las medidas viables de reducción de ruido que no restringen la aviación.

Tradicionalmente, la información sobre el ruido de las aeronaves se comunicaba a los vecinos de un aeropuerto a través de una variedad de índices descriptores de ruido de energía promedio. Estos, no son niveles de ruido que las personas escuchan, sino que son el resultado de complejos cálculos científicos de la exposición a la energía del ruido durante un período de tiempo definido.

Para la planificación del uso de la tierra, los responsables de la formulación de políticas se basan en los contornos de ruido producidos por expertos en acústica para representar el ruido de las aeronaves, lo que significa que la energía de ruido total se divide en un período de tiempo definido, por ejemplo, 24 horas.

Las encuestas sociológicas han vinculado estos contornos con la molestia y la interferencia con las actividades cotidianas normales, de modo que los contornos de ruido de las aeronaves se pueden usar para la planificación del uso de la tierra [2].

4.2. Transporte aéreo y desarrollo sostenible

El sector del transporte aéreo mundial genera 65,5 millones de empleos y aporta 2,7 billones de dólares a la economía mundial, según el informe publicado el 2 de octubre de 2018 por el Grupo de Acción del Transporte Aéreo (ATAG, por sus siglas en inglés).

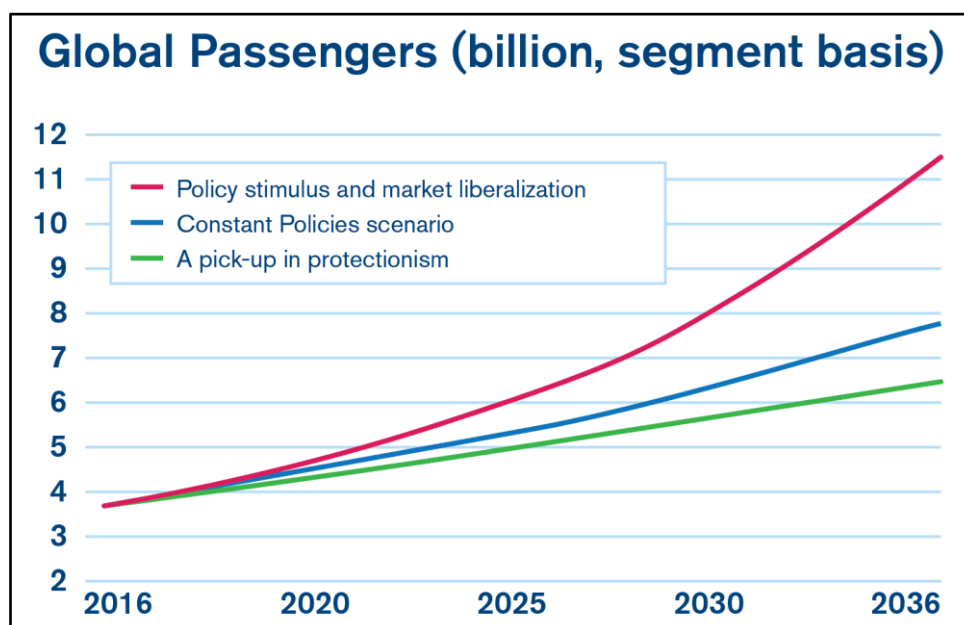


Figura 1. Crecimiento del tráfico de pasajeros bajo distintos escenarios de demanda. Fuente: IATA

La demanda de pasajeros en el transporte aéreo mundial aumentó un 7,6 % en 2017 respecto al año anterior y superó la tasa media de crecimiento de la última década, que fue del 5,5 %. Los pronósticos a futuro indican una tasa del 3,6% al menos hasta 2036 [3]. A su vez, este crecimiento es el mayor de los desafíos del sector. Por el momento, está limitado por el mantenimiento de la seguridad y por la disponibilidad de infraestructuras, pero a medio plazo el impacto ambiental puede convertirse en el principal factor limitador, al menos en los países más desarrollados.

Tras la aparición del informe sobre “Nuestro futuro común” coordinado por Brundtland (1987) en el marco de las Naciones Unidas, se estableció el objetivo del desarrollo sostenible, entendiendo por tal, aquel que permite «satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las

generaciones futuras para satisfacer las suyas». La insostenibilidad de la sociedad postfordista, en relación a la movilidad era claramente manifiesta a finales de los ochenta [4].

La preocupación medioambiental guía en la actualidad las principales estrategias globales de aplicación al sector del transporte. Es un reto para la industria de la aviación el ser activa en la búsqueda e impulso de soluciones para alcanzar la sostenibilidad del sector, por lo tanto, es necesario realizar un diagnóstico de situación a través de unos indicadores y modelos adecuados que midan el impacto ambiental del transporte aéreo.

El impacto ambiental de las actividades relacionadas con el modo de transporte aéreo tiene algunas características específicas que le diferencian de los de otros modos de transporte:

- Extenso alcance geográfico tanto en la superficie terrestre como en las capas altas de la atmósfera.
- Los efectos locales están concentrados alrededor de las terminales de transporte (aeropuertos).
- Las reglas generales de la normativa de protección ambiental son uniformes a escala mundial, aunque su aplicación puede tener variantes de ámbito local. En ocasiones la legislación aeronáutica puede superponerse a otras regulaciones ambientales de carácter general.

Una importante consideración adicional es que el transporte aéreo ofrece una gran cantidad de diferentes ventajas a la sociedad (rapidez de transporte y distribución, creación de empleo, competitividad, cohesión territorial, conectividad, spin-off tecnológico, intercambio científico y cultural, etc.), a las que se añade el mayor nivel de seguridad de todos los modos de transporte. El impacto ambiental, dentro del cual se incluye la contaminación acústica, constituye, prácticamente, el único gran elemento negativo asociado con esta actividad y, por tanto, se están realizando grandes esfuerzos para su control y mitigación [5].

4.3. Ruido

4.3.1. Conceptos básicos

A continuación, se presentan algunos conceptos que ayudarán a entender la problemática asociada al fenómeno del ruido ambiental.

- **Sonido:** El sonido es una vibración mecánica que se propaga a través de un medio elástico, como el aire, en forma de pequeñas fluctuaciones de presión (ondas sonoras). La respuesta del individuo frente al sonido (o ruido) es función de: frecuencia, amplitud y variación con el tiempo de las ondas sonoras.
- **Frecuencia:** La frecuencia es el número de oscilaciones que una onda efectúa en un determinado intervalo de tiempo. El número de ciclos por segundo se llama Hercio (Hz), y es la unidad con la cual se mide la frecuencia.

Los humanos somos sensibles a las vibraciones con frecuencia comprendida entre 16 Hz y 20.000 Hz. Por debajo de 16 Hz se llaman infrasonidos y por encima, ultrasonidos. El margen auditivo de las personas varía según la edad y otros factores.

- **Amplitud:** La amplitud de una onda de sonido es el grado de movimiento de las moléculas de aire en la onda, que corresponde a la intensidad del enrarecimiento y compresión que la acompañan. Cuanto mayor es la amplitud de la onda, más intensamente golpean las moléculas el tímpano y más fuerte es el sonido percibido.

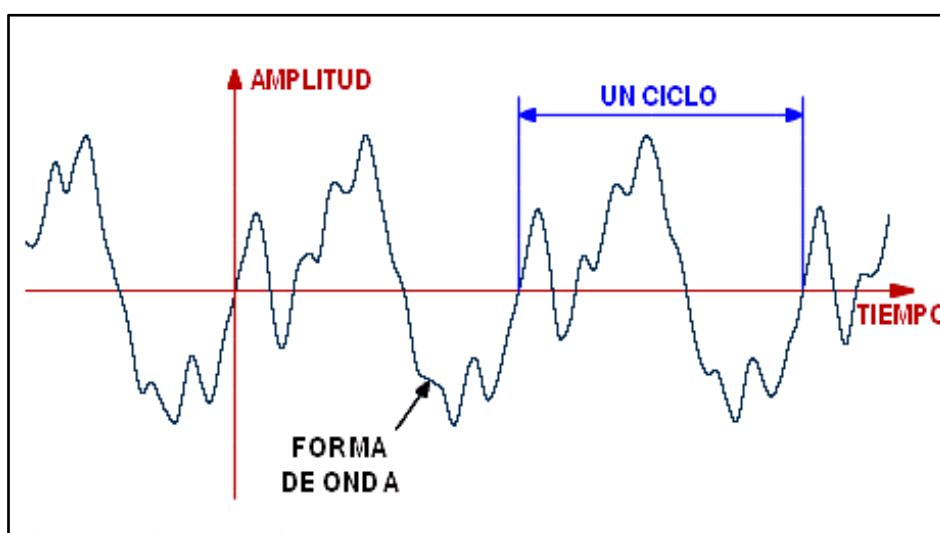


Figura 2, Representación de una onda sonora. Fuente: Dpto. EDAN - Univ. de Sevilla

- Variación con el tiempo: en la mayoría de las situaciones de ruido ambiental, el nivel de éste raramente es constante en el tiempo, lo normal es que presente intermitencias y fluctuaciones. Consecuentemente, no bastará precisar el nivel sonoro existente en una determinada situación y en un instante determinado, sino que habrá que evaluar estadísticamente el nivel sonoro total en un período de tiempo suficientemente largo. Esto es lo que se conoce como exposición al ruido.
- Decibel: Originado en los Laboratorios de la “Bell Telephone Company” (el nombre de esta magnitud recuerda al inventor del teléfono Alexander Graham Bell, 1847-1922), el decibel surgió debido a la necesidad de definir una unidad que diera una idea de la reducción o atenuación en la potencia obtenida a la salida de una línea telefónica con respecto a la entrada.

Planteado en principio como una “magnitud de relación” de parámetros (tensión, corriente, potencia, etc.), es posible su utilización como “magnitud de medida” cuando a uno de los parámetros de referencia se le asigna un valor unitario o un valor constante.

Se define al decibel entonces, como “la unidad utilizada para expresar la magnitud de una modificación en una señal o nivel sonoro” [6].

Matemáticamente, un decibel es un logaritmo base 10 de una relación y se expresa como:

$$dB = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{N_s}{N_r} \right)$$

De donde:

- N_s : Nivel de la señal
- N_r : Nivel de referencia

Para expresar el nivel de intensidad del sonido, se utiliza esta escala logarítmica porque la sensibilidad que presenta el oído humano a las variaciones de intensidad sonora sigue una escala aproximadamente logarítmica, no lineal. Por ello, el decibelio (dB), resulta adecuado para valorar la percepción de los sonidos por un oyente. Se define como la comparación o relación entre dos sonidos porque en los estudios sobre acústica fisiológica se vio que un oyente, al que se le hace escuchar un solo sonido, no puede dar una indicación fiable de su intensidad, mientras que, si se le hace escuchar dos sonidos diferentes, es capaz de distinguir la diferencia de intensidad.

Para las aplicaciones acústicas, se utiliza como nivel de referencia el valor de 0 dB, correspondiente al umbral de audición del ser humano, que por convención se estima que equivale a un sonido con una presión sonora de 20 micropascales.

- **Nivel de Presión Sonora:** Es una perturbación de la presión atmosférica, cuya intensidad está influenciada no sólo por la fuerza de la fuente, sino también por el entorno y la distancia entre la fuente y el receptor. Esta perturbación, genera ondas sonoras cuya presión sonora es igual a p , donde p se expresa en micropascales, y se expresa mediante la siguiente relación:

$$\text{Nivel de Presión Sonora} = 20\log_{10}(p/20) \text{ dB}$$

Esta ecuación nos permite expresar los niveles de presión sonora producidos por distintas fuentes en decibeles, tal como se muestra en la siguiente figura:

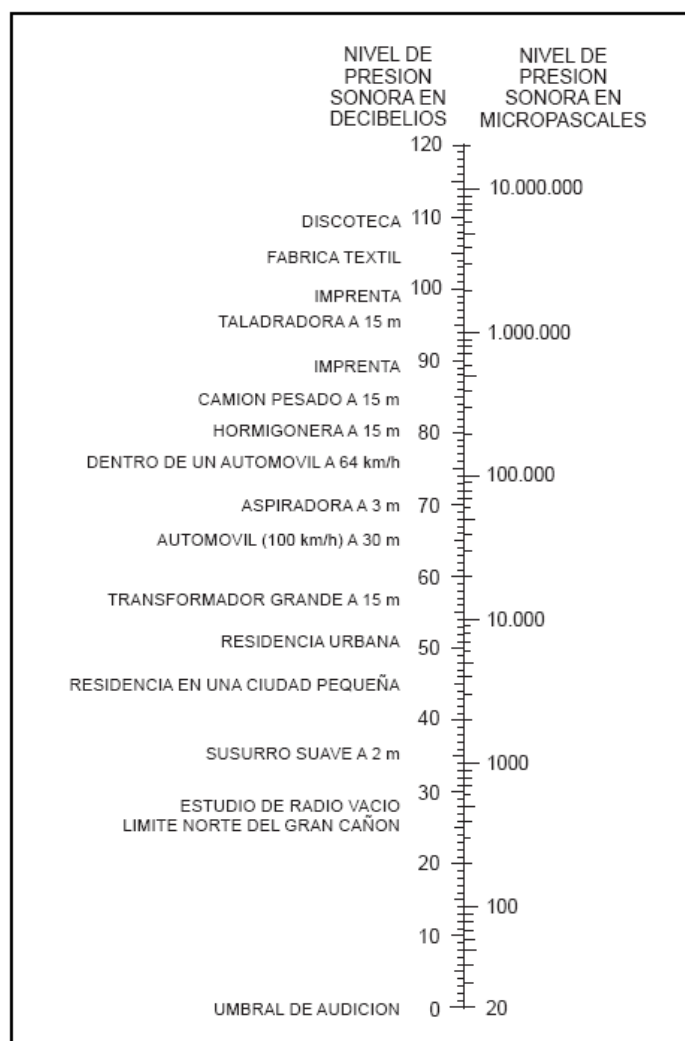


Figura 3. Relación nivel de presión sonora μPa – dB. Fuente: FiberGlass Colombia S.A., 1999

Por ejemplo, la presión de un sonido de $20 \mu Pa$ (20 micropascales) corresponde a un nivel de presión sonora de 0 dB, una presión sonora de $40 \mu Pa$ (40 micropascales) corresponde a un nivel de presión sonora de 6 dB y una presión sonora de $200 \mu Pa$ (200 micropascales) corresponde a un nivel de presión sonora de 20 dB. Así, doblar cualquier valor de presión sonora corresponde a un aumento de 6 dB en el nivel de presión sonora [7].

4.3.2. Definición y clasificación

Antes de hablar de ruido es importante tener claro la diferencia que existe entre sonido y ruido. El sonido, tal como se describió anteriormente, es una sensación auditiva producida por un movimiento de partículas en un medio elástico (gaseoso, líquido o sólido) a partir de una posición de equilibrio [8]. Por otra parte, el ruido es definido, como un sonido no deseado, desagradable, molesto y que puede producir daño [9][10]. De igual manera se puede decir que el ruido es una onda que produce molestias o alteraciones a nivel del oído, teniendo en cuenta que no todas las personas presentan el mismo grado de molestia y que dependerá, además, de la sensibilidad auditiva, las situaciones como la actividad del receptor y sus expectativas de calidad de vida. Por otra parte, desde la física, el ruido es un movimiento ondulatorio producido en un medio elástico por una vibración [11].



Figura 4. Proceso de percepción auditiva Fuente: Laboratorio de condiciones de trabajo - Ruido. [9]

Se conocen divisiones entre los autores con respecto a la clasificación de los diferentes tipos de ruido, a continuación, se engloban los casos que se pueden presentar [11]:

- Continuo: cuando el mismo es constante dentro de un periodo de tiempo.
- Intermitente: cuando se producen caídas bruscas de forma intermitente, y se logra de nuevo el nivel alto.

- Impacto: cuando se produce un incremento brusco de ruido en un periodo por debajo de los 35 milisegundos (ms) y una duración global inferior a los 500ms.
- Intermitente variable: sucesión de distintos niveles de ruidos estables.
- Ruido fluctuante: es el ruido que varía continuamente sin percibirse estabilidad.

4.3.3. Medición del ruido

La mayoría de ruidos ambientales puede describirse mediante medidas sencillas. Todas las medidas consideran la frecuencia del sonido, los niveles generales de presión sonora y la variación de esos niveles con el tiempo. Como se aclaró anteriormente, la presión sonora es una medida básica de las vibraciones del aire que constituyen el sonido. Debido a que el rango de presión sonora que puede detectar el hombre es muy amplio, se mide en una escala logarítmica cuya unidad es el decibel. En consecuencia, los niveles de presión sonora no se pueden sumar ni promediar aritméticamente. Además, los niveles de sonido de la mayoría de ruidos varían con el tiempo y cuando se calculan, las fluctuaciones instantáneas de presión se deben integrar en un intervalo de tiempo [12].

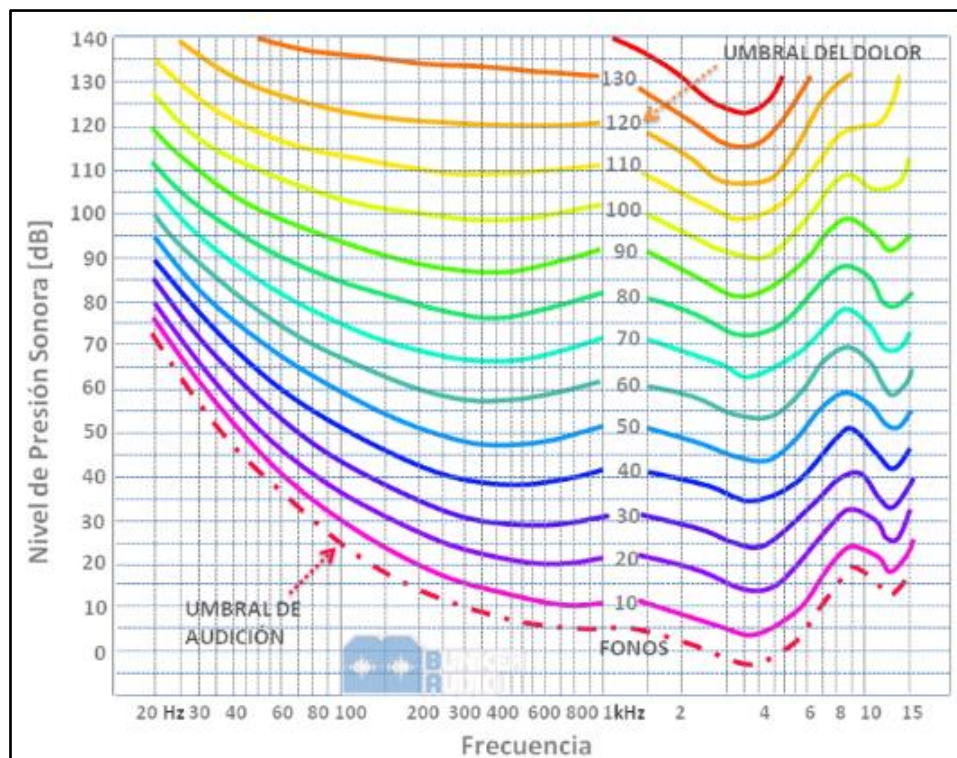


Figura 5. Curvas de Audición de Fletcher y Munson. Fuente: bunker-audio.com

La mayor parte de sonidos ambientales está constituida por una mezcla compleja de frecuencias diferentes. Sin embargo, no todas las frecuencias son percibidas con la misma intensidad, siendo el oído humano más sensible en la banda comprendida entre los 500 y 6.000 Hz. Es decir, como se comprueba en las curvas de audición de la Figura 5, el oído humano se comporta “algo sordo” en bajas y altas frecuencias. La banda de frecuencias en la que fluctúa la voz humana está comprendida entre los 500 y los 2.000 Hz.

Puesto que el oído humano no tiene la misma sensibilidad para todas las frecuencias, resulta lógico que al efectuar una medición de ruido ambiental se tenga en cuenta esta particularidad. Para ello, se establecen y se han normalizado diferentes curvas de ponderación, las cuales siguen aproximadamente la misma ley que el oído en cuanto a sensibilidad en función de la frecuencia.

- Curva A, para bajos niveles de presión sonora (<55 dB). Se aproxima a la curva de audición de baja sensibilidad.
- Curva B, para niveles intermedios de presión sonora (55 –85 dB). Se aproxima a la curva de audición de media sensibilidad.
- Curva C, para niveles altos de presión sonora (>85 dB). Se aproxima a la curva de audición de alta sensibilidad.

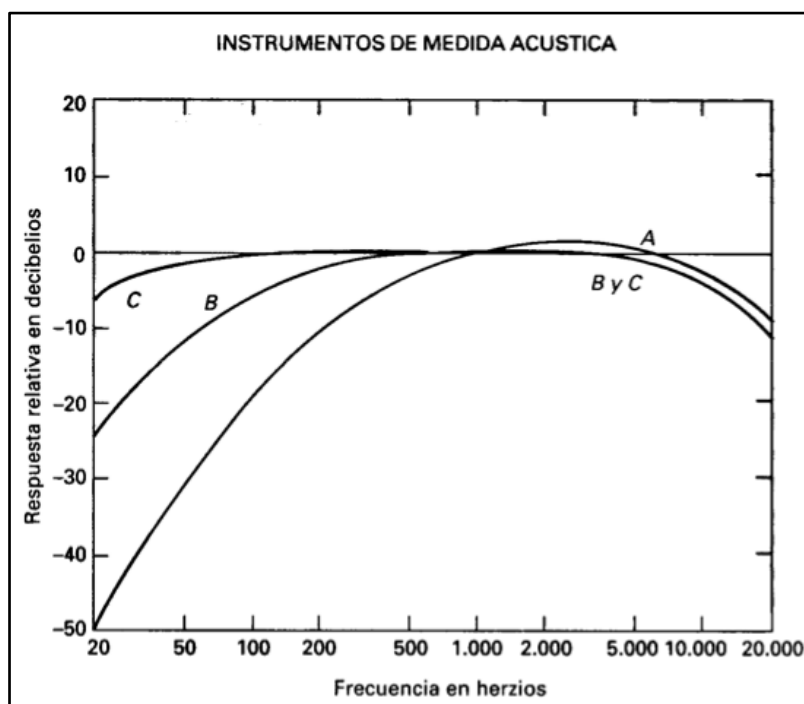


Figura 6. Respuesta de frecuencias a distintas redes de ponderación [13]

La curva de ponderación A es la más utilizada, ya que es la que brinda una mayor protección al hombre contra la agresión del ruido, por lo que cuando el nivel sonoro este ponderado se suele representar el valor acompañado con dB(A), obteniéndose así los niveles sonoros ponderados [13].

4.3.4. Índices de valoración del ruido ambiental

El ruido producido por el tráfico aéreo no es continuo, sino que presenta grandes fluctuaciones, de modo que, es muy intenso en determinados periodos del día o de la noche, y de relativa calma en otros, por lo que se introducen magnitudes de tipo estadístico, como es el caso del nivel de presión sonora continuo equivalente L_{eq} , el nivel de ruido percibido PNdB, el nivel de exposición sonora SEL y el nivel sonoro corregido día-noche DNL [14].

4.3.4.1. Nivel de presión sonora continuo equivalente (L_{eq})

Se define como el nivel de presión sonora constante que, expresado en decibeles A, en el mismo intervalo de tiempo, contiene la misma energía total (o dosis) que el ruido medido [15].

La expresión matemática del L_{eq} es:

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \left[\frac{1}{T} \int_{t_2}^{t_1} P_A^2(t) dt \right] \frac{1}{P_0^2} \right\}$$

De donde:

- $T = t_1 - t_2 =$ intervalo de tiempo de medición
- $P_A^2 =$ cuadrado de la presión instantánea con ponderación A
- $P_0^2 =$ cuadrado de la presión sonora de referencia normalizada

Este parámetro presenta un especial interés, en el ruido producido por el sobrevuelo de aeronaves, por el hecho de valorar la importancia de impulsos elevados en nivel, pero de corta duración que son sumamente molestos.

En la norma ISO 3891 se define el nivel de ruido percibido equivalente como:

$$L_{PNeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_{PN}}{10}} dt$$

4.3.4.2. Nivel de ruido percibido PNdB

Es un nivel expresado en decibeles del ruido subjetivamente percibido. Se planteó originalmente para evaluar el ruido del paso de un avión. Toma en cuenta la relación entre el ruido, molestia y las características físicas del ruido del avión.

Implica un procedimiento de cálculo extenso y complicado. El mismo está basado en un análisis de frecuencia por tercios de octava, medidos por lo menos cada 0.5s, el cual es ponderado y sumado para obtener un valor en unidades de ruidosidad (Noys) para cada intervalo de tiempo. A través de tablas o cálculos matemáticos, se convierte este valor para obtener el nivel de ruido percibido PNdB (Perceived Noise Level).

Con posterioridad es posible realizar correcciones debidas a tonos puros de ruido y la duración del evento para obtener una unidad más refinada que es el Nivel Efectivo de Ruido Percibido (Effective Perceived Noise Level) cuya unidad es el EPNdB [16].

Ésta es la medida de evaluación que maneja el anexo 16 “Protección del medio ambiente. Volumen 1: Ruido de las aeronaves” para la certificación de ruido de las aeronaves [17].

Algunos problemas técnicos para la zonificación provienen del hecho de que la unidad elegida para la certificación acústica de las aeronaves (EPNdB) no tiene traducción directa al dBA, que es la más usada en entornos urbanos [5].

4.3.4.3. Nivel de exposición sonora (SEL)

El Leq , aplicado al ruido de aeronaves es muy fácil de medir, con un sencillo sonómetro integrador, al igual que el Nivel de Exposición Sonora SEL , que se define como el nivel sonoro que tiene la misma energía en 1 segundo que el suceso real de ruido. El parámetro SEL es útil para clasificar y comparar sucesos de ruido de relativa corta duración, como es el caso de los vuelos aéreos. La relación entre las magnitudes SEL y Leq viene dada por la expresión [15]:

$$SEL = Leq + 10 \log (T / T_0)$$

De donde:

- $T =$ tiempo de duración del suceso sonoro
- $T_0 = 1 [s]$ (tiempo de referencia)

4.3.4.4. Nivel sonoro corregido día-noche (LDN)

Este nivel es usado para corregir las diferencias existentes entre un mismo nivel de ruido medido de día y/o de noche. Diversos estudios llegaron a la conclusión que se debería agregar 10 dB a los niveles de presión sonora de ruidos nocturnos. En general, el *DNL* considera una corrección de 10 dB para los niveles sonoros en el horario nocturno al periodo de horas entre las 22:00 y 07:00 horas. Luego si se mide *Leq* para los periodos día (07:00 – 22:00 horas) y noche (22:00 – 07:00 horas) entonces el *DNL* está dado en la siguiente expresión matemática [18]:

$$L_{DN} = 10 \log \frac{1}{24} \left(15 \cdot 10^{\frac{L_D}{10}} + 9 \cdot 10^{\frac{L_N+10}{10}} \right)$$

De donde:

- $L_D = Leq$ medido en periodo diurno (07:00 – 22:00 horas)
- $L_N = Leq$ medido en periodo nocturno (22:00 – 07:00 horas)

4.3.4.5. ¿Existe una métrica ideal?

La búsqueda de una métrica que correlacione perfectamente con la respuesta de molestia de las personas, ha llevado a definir un conjunto enorme de métricas, no solo adoptadas por diferentes países, si no también dentro de algunos países en diferentes regiones o estados se adoptan diferentes métricas para sus reglamentos y leyes.

Es por esta razón que en la última década se ha ido buscando unificar criterios respecto de la métrica que estandarice las mediciones de ruido. Por ejemplo, la comunidad europea ha formado un grupo de trabajo que está proponiendo una forma de evaluar el ruido comunitario [16].

De manera análoga, y con el mismo fin, la International Organization for Standardization (ISO) [19] y la American National Standards Institute (ANSI) [20] también han propuesto una metodología para la evaluación del ruido.

En 1978 Shultz [21] planteó que el *L_{Aeq}* y el *DNL* deberían ser las métricas usadas para cualquier estudio de ruido comunitario. Sin embargo, posteriores investigaciones sugieren que existen diferencias en la percepción de la molestia dependiendo de la fuente de ruido, aún con iguales valores de *DNL*. Por ejemplo, Fidell [22] y Finegold [23], han encontrado que el ruido causado por aviones es

más molesto que el causado por tráfico vehicular aun cuando el DNL del tráfico vehicular era mayor.

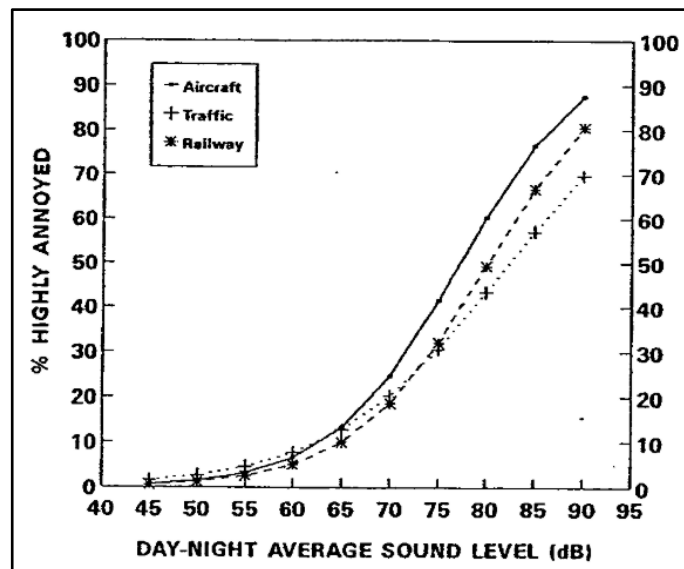


Figura 7. Porcentaje de molestia vs niveles de ruido DNL de aeronaves, tráfico vehicular y ferroviario [21].

Posteriormente Miedema [24] en 1998, demostró que el ruido aéreo era de 5 a 10dB más molesto que el ruido vehicular con iguales DNL, no existiendo diferencia entre el ruido de trenes y el vehicular aún al elevar los niveles de ruido.

Por otro lado, los niveles e índices basados en el ruido percibido han ido perdiendo aceptación con el paso de los años; al principio, debido a la complejidad de su cálculo, hacían poco atractivo este índice para ser incluido dentro de la legislación de cada país o región. Aun cuando la OACI exige su uso para el proceso de certificación, el único país que usa métricas basadas en el ruido percibido es Japón.

Más recientemente, Shoemer [25] ha realizado un estudio en el que se propone reemplazar el filtro de la ponderación A por un filtro dinámico, que cambie de acuerdo al nivel de presión sonora, obedeciendo las curvas de isosonoridad en phons de acuerdo al estándar ISO 226. Es decir, el sonómetro registra el nivel y automáticamente escoge la curva que le corresponde a esa frecuencia, de forma que el filtro ahora tiene una doble dimensionalidad: frecuencia y sonoridad, y no como con la ponderación A estática que sólo varía con la frecuencia.

Es así, que se define un nuevo parámetro L_L denominado nivel de exposición sonora ponderado en sonoridad. Este nivel es similar al SEL con la única

diferencia que, en éste, la ponderación en frecuencia se hace con la ponderación A clásica estática, mientras el L_L se hace con un filtro dinámico.

En éste mismo estudio, Shoemer presenta una serie de experimentos en los que demuestra que los niveles medidos con este método correlacionan mejor que los basados en el ruido percibido para una serie de fuentes de sonido, entre los que se encuentra el ruido de aviones.

Hasta que los filtros dinámicos se generalicen, el uso combinado de diferentes métricas de sonido como DNL y SEL pueden ser capaces de evaluar satisfactoriamente los niveles de ruido y reacciones de los pobladores, para obtener un mayor entendimiento del grado de afectación acústica sobre la comunidad.

4.4. Ruido aeronáutico

4.4.1. Descripción

El origen del ruido aeronáutico se confunde con la propia historia de la aviación. Sin embargo, solamente a partir de la década de los 50, con la aparición de las aeronaves comerciales de reacción, el problema pasó a ser crítico. Los reclamos provenientes de las poblaciones que residían en las proximidades de los aeropuertos, motivaron los estudios para determinar la exacta dimensión del problema y las formas capaces de minimizarlo.

Entre los diversos tipos de ruido producido por la actividad humana, el ruido aeronáutico presenta características singulares, en la medida en que su propagación sobrepasa sobradamente los límites del aeropuerto donde se origina. Las operaciones normales de aterrizaje y despegue producen elevados niveles de ruido en forma discontinua.

Para fines de análisis del impacto sonoro generado por los aeropuertos, se considera el ruido aeronáutico como aquel producido por las operaciones de aterrizaje, despegue, rodaje, circulación, prueba de motores y el producido por los equipos auxiliares, como la GPU (Ground Power Unit), la APU (Auxiliary Power Unit), etc [26].

De acuerdo al tipo de motor que tenga el avión, el nivel de presión sonora puede ser mayor. Además, a parte de los motores, los aviones tienen otras partes generadoras de ruido, algunas se convierten en ruidosas al desplazarse de su posición inicial, como los splitters, alerones y flaps. Durante el aterrizaje la aerodinámica del avión se enfrenta al aire produciendo demasiado ruido, muy

similar al de los motores, una de las mayores fuentes de ruido del fuselaje es el tren de aterrizaje, el cual se utiliza como fuente de resistencia aerodinámica durante el acercamiento [27].

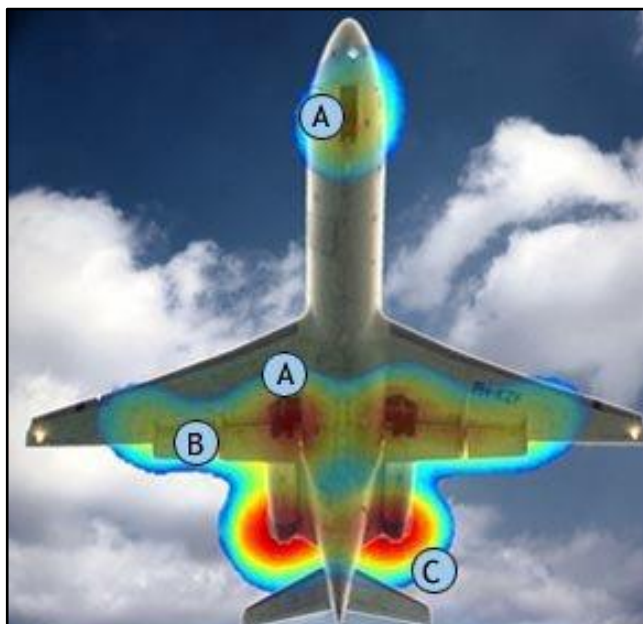


Figura 8. Principales fuentes de ruido de un avión durante el aterrizaje. Fuente: Domotica viva.

4.4.2. Características

Nivel de Presión Sonora vs. Ángulo. Fuentes direccionales.

La mayoría de las fuentes de sonido exhiben características direccionales definidas; o sea, irradian más sonido en algunas direcciones que en otras. Esto se ilustra en la Figura 9, que muestra la distribución del sonido alrededor de un avión Jet de cuatro motores. Muestra el nivel de presión sonora, a una distancia fija, en función del ángulo. A este diagrama se le denomina Patrón de irradiación.

Las propiedades direccionales de una fuente de sonido pueden ser una consideración práctica importante en los problemas aplicados de control de ruido. Por ejemplo, consideremos el ruido del avión de la figura siguiente. Dado que el ruido de esta fuente es direccional, la orientación de las pistas de un aeropuerto puede ser de considerable importancia para definir las medidas tendientes a disminuir la afectación acústica en las áreas residenciales próximas a él.

Aunque los patrones de irradiación de las distintas fuentes de sonido varían considerablemente, suelen exhibir las siguientes características generales: Cuando la longitud de onda del sonido emitido es muy grande en comparación

con las dimensiones de la fuente (por ejemplo, los motores de una aeronave), el sonido se irradia uniformemente en todas las direcciones; la fuente no es direccional. Cuando la longitud de onda es pequeña comparada con las dimensiones de la fuente, el sonido irradiado desde la superficie de la fuente tiende a confinarse en un haz relativamente estrecho; así cuanto mayor es la frecuencia, más estrecho es el haz [7].

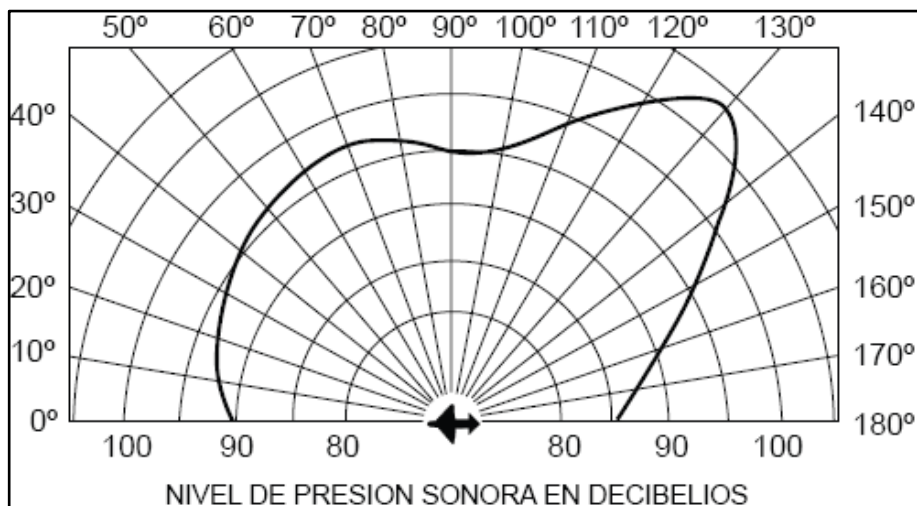


Figura 9. Patrón de Respuesta Direccional vs Patrón de Irradiación, mostrando la distribución del nivel de presión sonora a una distancia constante alrededor de un avión jet de cuatro motores. Fuente: Harris, 1998.

Nivel de Presión Sonora vs. Distancia de la fuente.

Si un sonido se irradia desde una fuente puntual en una atmósfera homogénea e inalterada, lejos de toda superficie reflectante o absorbente, el sonido se propaga en ondas esféricas. La presión sonora de las ondas esféricas se reduce en proporción inversa a la distancia de la fuente.

Por ejemplo, consideremos una aeronave que esté lejos de cualquier superficie reflectante. La emisión de ruido de sus motores está fundamentalmente dentro del rango de las frecuencias bajas, actuando los mismos como una fuente de sonido esférica. A una distancia de 50 m, la presión sonora es de 20 pascales. Como la presión sonora es inversamente proporcional a la distancia de la fuente, a 100 metros la presión sonora es 10 Pa, y a 200 m es 5 Pa.

El nivel de presión sonora desciende 6 dB cada vez que se dobla la distancia desde la fuente. Esto es equivalente a un descenso de 20 dB cuando la distancia se multiplica por 10. En el ejemplo anterior, los niveles de presión sonora a las

distancias de 50 m, 100 m y 200 m de la fuente son 114 dB, 108 dB y 102 dB, respectivamente. Lo anterior en ausencia de barreras [7].

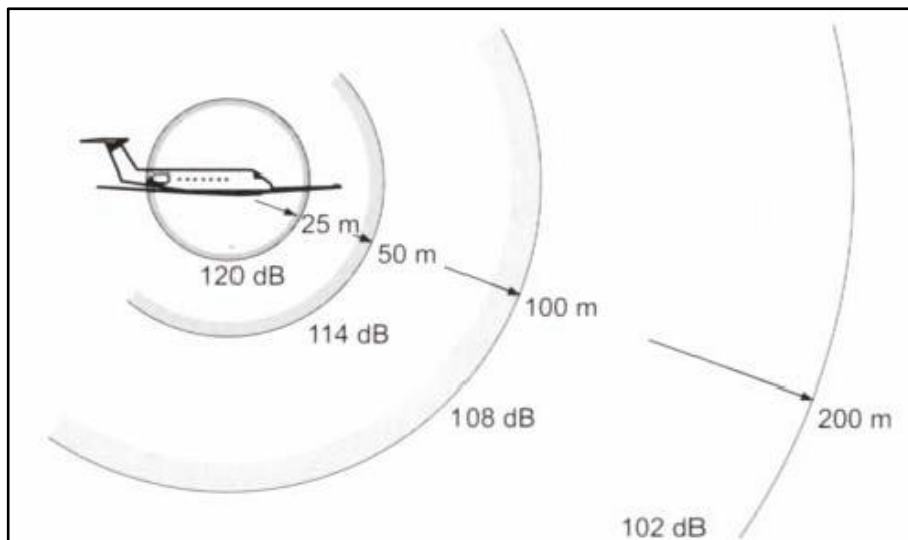


Figura 10. Ejemplo de propagación esférica en campo libre [7]

4.5. Mapas estratégicos de ruido

Los mapas o curvas de ruido se definen como las líneas en un mapa en torno al aeropuerto que unen puntos en donde una métrica de ruido tiene un valor constante. Este ruido representa el ruido de los aviones que operan en el aeropuerto en condiciones normales.

La información necesaria para la elaboración de un mapa de ruido es la siguiente [16]:

- a) Clase de avión que usa el aeropuerto.
- b) Los datos técnicos y de performance relacionados con cada tipo de avión.
- c) Perfiles de aproximación y despegue de las aeronaves.
- d) El número de vuelos de cada ruta durante el periodo seleccionado para hacer los cálculos.
- e) Los datos de utilización y procedimientos de vuelo relacionados con cada una de las rutas (especialmente la masa de los aviones, los regímenes de potencia de los motores, las velocidades y configuraciones correspondientes a los diversos tramos de la trayectoria de vuelo); y

- f) Los datos aeroportuarios (especialmente condiciones meteorológicas medias, el número de pistas y su orientación)

A partir del Mapa Estratégico de Ruido se puede estimar la exposición al ruido en términos de superficie, número de personas y viviendas.

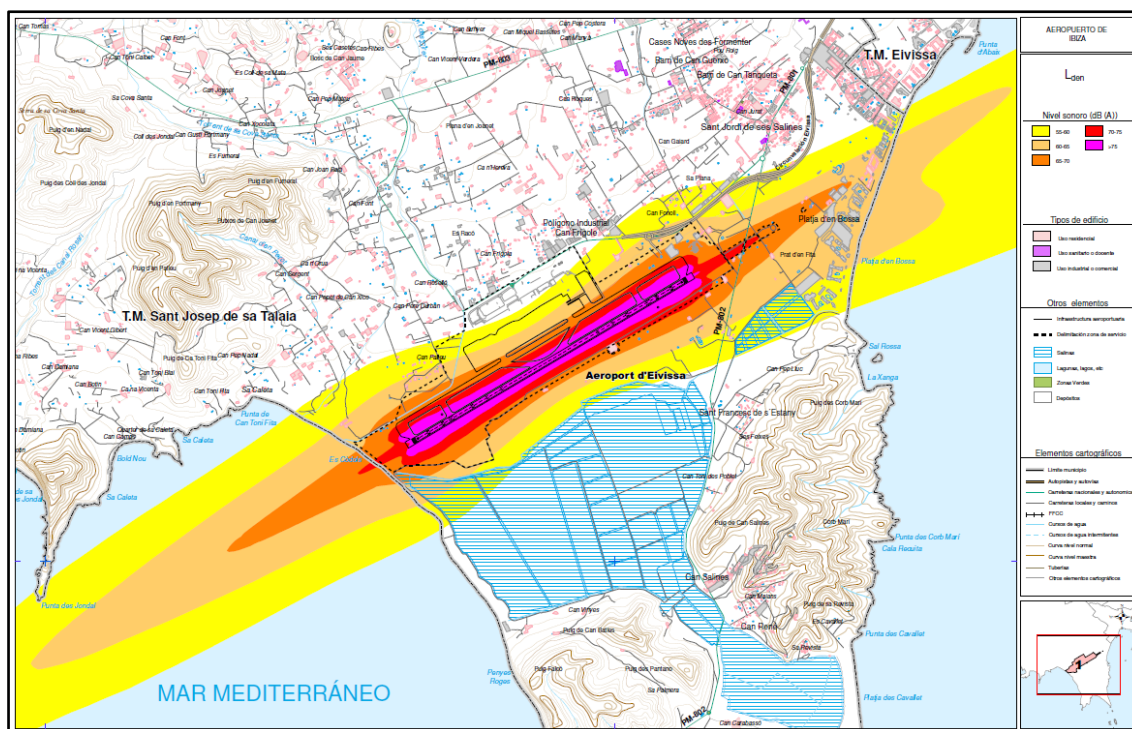


Figura 11. Mapa estratégico de ruido. Aeropuerto de Ibiza, España. Fuente: AENA

4.6. Exposición al ruido

Son muchos estudios que demuestran que la presión sonora, por encima de determinados umbrales, genera efectos muy negativos sobre el organismo humano, causando alteraciones del sistema auditivo, pero también del sistema nervioso, generando situaciones de fatiga y estrés que pueden llegar a niveles de alto riesgo para la salud. Sin alcanzar estos extremos, se han descrito también perturbaciones en la comunicación, la vida privada y las relaciones sociales, como consecuencias cotidianas de la contaminación acústica [28].

4.6.1. Factores de Riesgo

Entre los factores de riesgo más comunes, existen cuatro de primer orden que determinan el riesgo de pérdida auditiva o hipoacusia, tales como:

- Nivel de presión sonora
- Tipo de ruido
- Tiempo de exposición al ruido
- Edad de la persona

Además de estos cuatro factores, existen otros, como son la sensibilidad del sujeto receptor, características del entorno, distancia al foco sonoro y posición respecto a éste, entre otros.

4.6.2. Anatomía del Oído Humano

El oído es un órgano alojado en el hueso temporal, y consiste de tres partes, a saber:

- Oído Externo: Esta dividido en dos partes, fundamentalmente, la parte exterior, llamada pabellón u oreja, y el conducto auditivo externo. La morfología de la oreja hace que se recojan las ondas sonoras conduciéndolas hacia el canal auditivo externo (con una longitud de unos 3 cm. aproximadamente) termina en la membrana del “tímpano” que se considera como frontera entre el oído externo y medio.
- Oído Medio: Es un espacio hueco conocido como caja del tímpano y está limitado en su parte más externa por la membrana del tímpano y en su parte más interna por la pared ósea del oído interno. En el interior del oído medio se encuentra la cadena de huesecillos, como son: martillo, yunque y estribo.

En el oído medio se producen dos funciones fundamentales. La primera de transmisión del sonido hasta el oído interno. La segunda, de transformación del sonido amplificándolo o amortiguándolo.

- Oído Interno: Aquí se dan las funciones más importantes del mecanismo final de audición y el receptor del equilibrio. Consta de tres partes: La cóclea, el vestíbulo y los canales semicirculares.

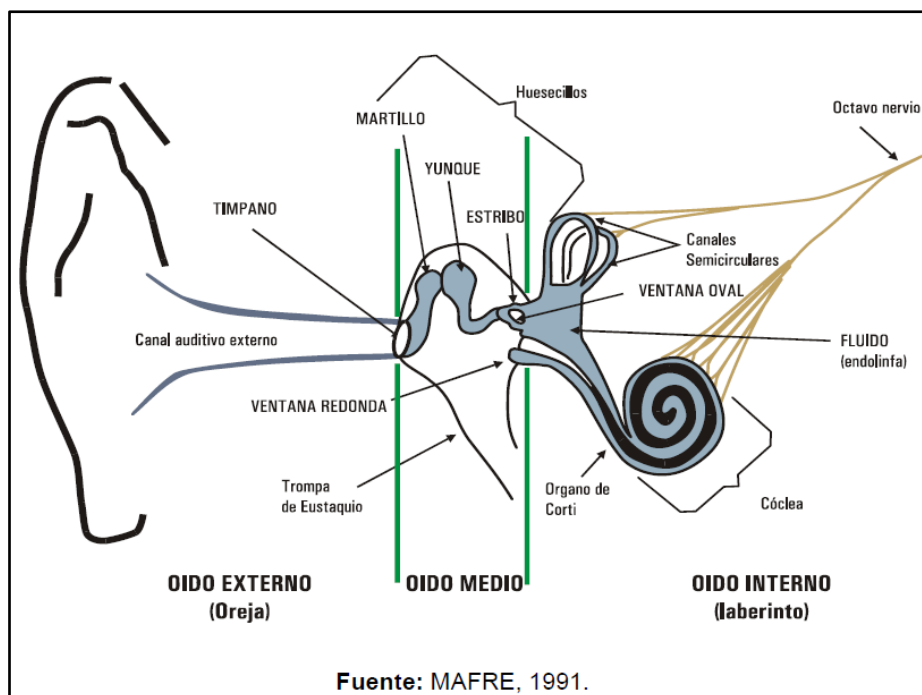


Figura 12. Anatomía del oído humano [11]

4.6.3. Pérdida de la audición inducida por ruido

La pérdida de audición inducida por el ruido puede ocurrir de una manera brusca por un sonido intenso e “impulsivo”, como el de una explosión. O, también puede ocurrir poco a poco por la exposición continua a sonidos fuertes, como los ruidos generados por las aeronaves.

Para comprender cómo los sonidos fuertes afectan la audición, es necesario comprender cómo oímos. La audición depende de una serie de pasos para convertir las ondas sonoras que viajan por el aire en señales eléctricas. Estas señales llegan al cerebro a través del nervio auditivo después de un proceso complejo.

1. Las ondas sonoras entran al oído externo a través de un pasaje estrecho llamado “conducto auditivo” que llega hasta el tímpano.
2. El movimiento de las ondas sonoras que entran hace que el tímpano vibre y a la vez transmita estas vibraciones a tres huesecillos diminutos del oído medio. Estos huesecillos se llaman martillo, yunque y estribo.
3. Los huesecillos del oído medio amplifican las vibraciones de sonido que llegan en el aire y se convierten en vibraciones líquidas dentro de la cóclea en el oído interno. La cóclea tiene forma de caracol y está llena de líquido.

Tiene una membrana elástica a lo largo de su estructura que la divide en dos secciones: superior e inferior. Esta membrana es conocida como “membrana basilar” porque sirve de base para estructuras claves del sistema auditivo.

4. Una vez que las vibraciones llegan hasta el líquido dentro de la cóclea, se forman ondas que viajan a lo largo de la membrana basilar. Las células ciliadas, que son células sensoriales sujetas a la superficie de la membrana, “bailan” con el movimiento de la ola.

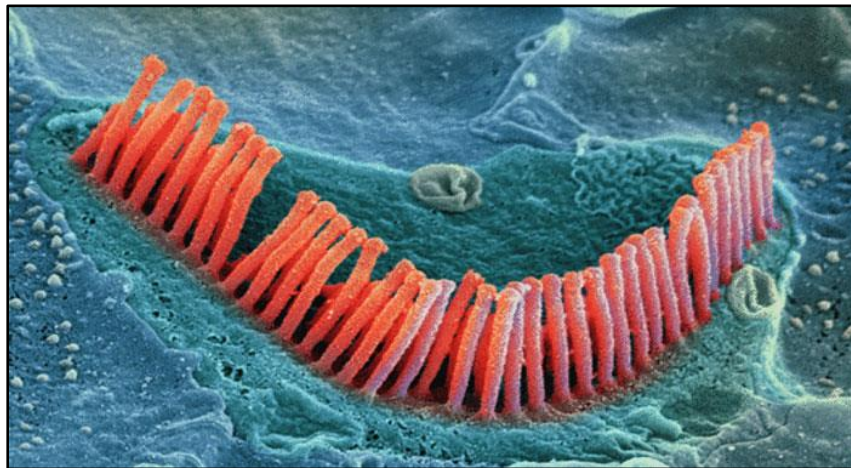


Figura 13. Células ciliadas. Fuente: medicalpress.es

5. Al moverse las células ciliadas hacia arriba y hacia abajo, unas proyecciones microscópicas parecidas a cerdas (conocidas como estereocilios), que se encuentran encima de las células ciliadas, se topan con una membrana sobresaliente y se inclinan. Esta inclinación hace que se abran unos canales que parecen poros, que están en las puntas de los estereocilios. Esto permite que ciertas sustancias químicas entren, generando así una señal eléctrica.
6. El nervio auditivo lleva la señal eléctrica al cerebro donde es traducida a sonidos que podemos reconocer y entender.

Gran parte de los casos de pérdida de audición inducida por el ruido son causados por el daño y finalmente la muerte de estas células ciliadas. A diferencia de las células ciliadas de los pájaros y los anfibios, las células ciliadas humanas no vuelven a crecer. Es decir, el daño es permanente [29].

4.6.4. Efectos sobre la salud

La Organización Mundial de la Salud (OMS), describe cuáles son los efectos adversos de ruido sobre la salud y presenta los valores guía o umbrales que no deben sobrepasarse.

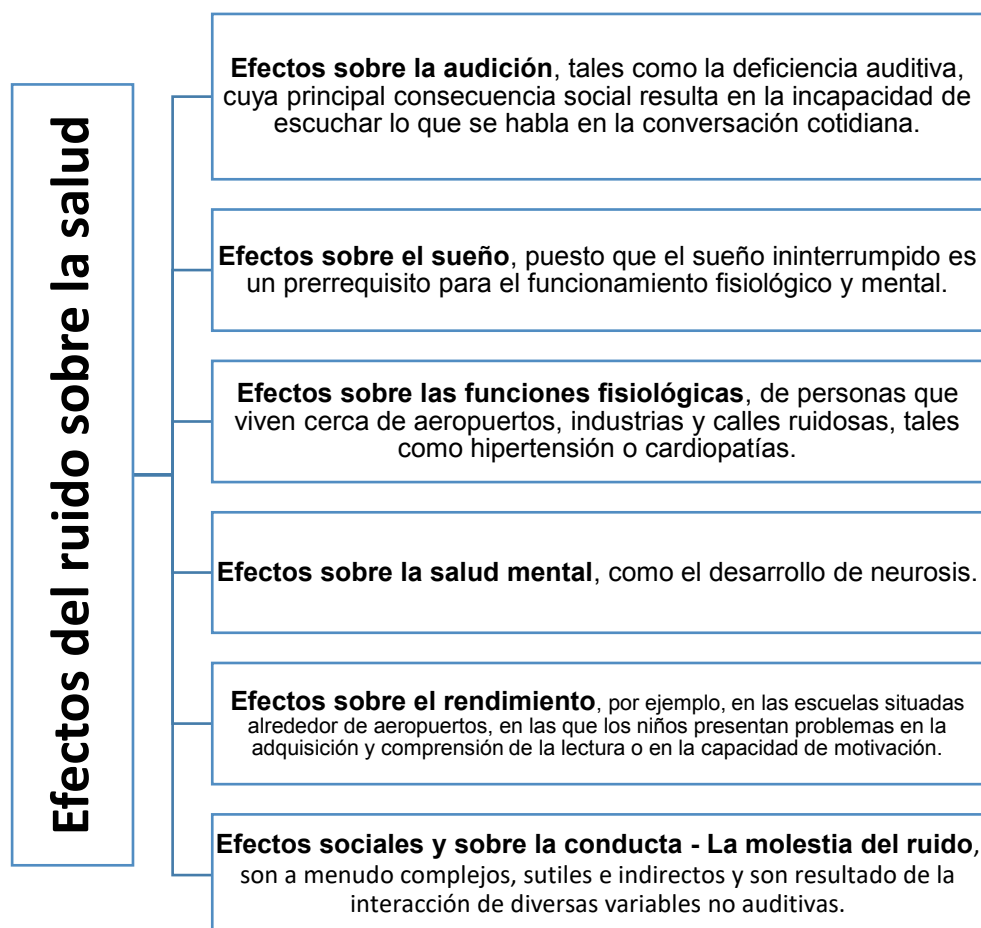


Figura 14. Efectos del ruido sobre la salud [12]

Estos efectos y los umbrales a partir de los que éstos se producen según la OMS, se detallan en la Tabla 1.

Resumen de valores críticos OMS	
A partir de este valor en Db	Efectos nocivos
30	Dificultad en conciliar el sueño. Pérdida de calidad del sueño
40	Dificultad en la comunicación verbal
45	Probable interrupción del sueño
50	Malestar diurno moderado
55	Malestar diurno fuerte
65	Comunicación verbal extremadamente difícil
75	Pérdida de oído a largo plazo
110 - 140	Pérdida de oído a corto plazo

Tabla 1. Valores críticos de ruido. Fuente: OMS (Organización Mundial de la Salud)

Destacamos aquí, a modo de síntesis, que, según este organismo, los valores críticos de ruido necesarios para generar un fuerte malestar no deben exceder los 55dB LAeq en balcones, terrazas y áreas exteriores.

4.7. Normativa de Referencia

4.7.1. A nivel internacional

La OACI delegó en el Comité sobre Protección del Medio Ambiente y la Aviación (CAEP) la tarea de estudiar los problemas ambientales vinculados a la navegación aérea. Fue creado en 1983. Pero la preocupación de la OACI por los problemas ambientales comienza en 1969, cuando convocó a un cónclave especial sobre el “Ruido de las aeronaves en las proximidades de los aeropuertos”. El resultado visible de esa reunión fue la creación del “Comité sobre Ruido de las Aeronaves” (CAN). En 1977, creó un nuevo “Comité sobre Emisiones de los Motores de las Aeronaves” (CAEE), que tres años después ya había elaborado la mayor parte de las disposiciones que actualmente figuran en el Vol. II del Anexo 16 al Convenio de Chicago de 1944, sobre “Protección del Medio Ambiente”, mientras que el Vol. I (sobre ruido de las aeronaves) fue elaborado casi por completo hacia 1983 por el CAN.

El CAN y el CAEE fueron fusionados en 1983, dando lugar al nacimiento del CAEP. Actualmente está integrado por 23 miembros, de los cuales Argentina forma parte, liderados por un Coordinador General asistido por un secretario. Todos ellos son expertos designados por los 191 estados miembros de la OACI. A las reuniones asisten también 14 observadores procedentes de organismos y asociaciones internacionales interesados en las discusiones.

El rol asignado por el Consejo de la OACI al CAEP es el de asistirlo en la formulación de políticas y en la adopción de nuevos estándares de ruido y emisiones de las aeronaves, que luego de su aprobación por el Consejo habrán de nutrir a los 5 volúmenes sobre Medio Ambiente del Anexo 16 al Convenio de Chicago de 1944 sobre Aviación Civil Internacional [30].

El objetivo de estas normas es fomentar la introducción de la mejor tecnología acústica disponible en los nuevos diseños de aeronaves civiles. En consecuencia, los requisitos fueron haciéndose más estrictos, siguiendo los progresos de la tecnología. La primera edición del Anexo 16 afectaba a los modelos certificados a partir de 1971, según el texto incluido en el Capítulo 2 del Anexo.

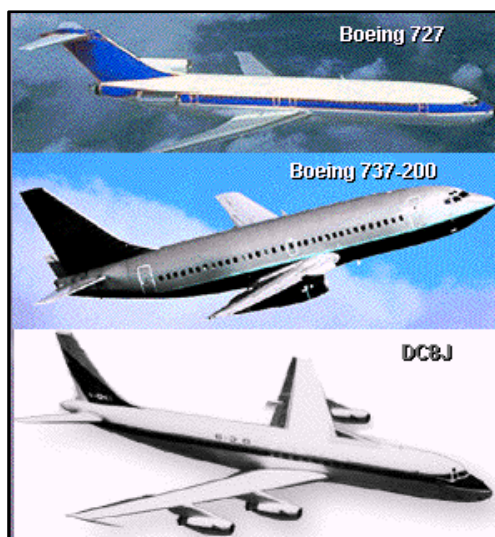


Figura 15. Ejemplo aeronaves Capítulo 2 [16]

Posteriormente aparecieron el Capítulo 3, más estricto, aplicable a partir de 1977, y el Capítulo 4, actualmente en vigor, desde el 1 de enero de 2006. En estos momentos el CAEP está discutiendo un futuro Capítulo 14 que, posiblemente, entraría en vigor alrededor del año 2020.



Figura 16. Ejemplo aeronaves Capítulo 3 [16]



Figura 17. Ejemplo aeronaves Capítulo 4.

El esquema de certificación acústica mide el ruido en tres puntos, uno bajo la senda de despegue, otro bajo la trayectoria de aterrizaje y un tercero sobre una línea paralela al eje de la pista en unas condiciones de temperatura, humedad y viento predeterminadas. La unidad de medida elegida es el Decibelio Percibido Equivalente (EPNdB), que tiene en cuenta el nivel de molestia, los tonos puros del espectro de frecuencia y la duración del ruido.

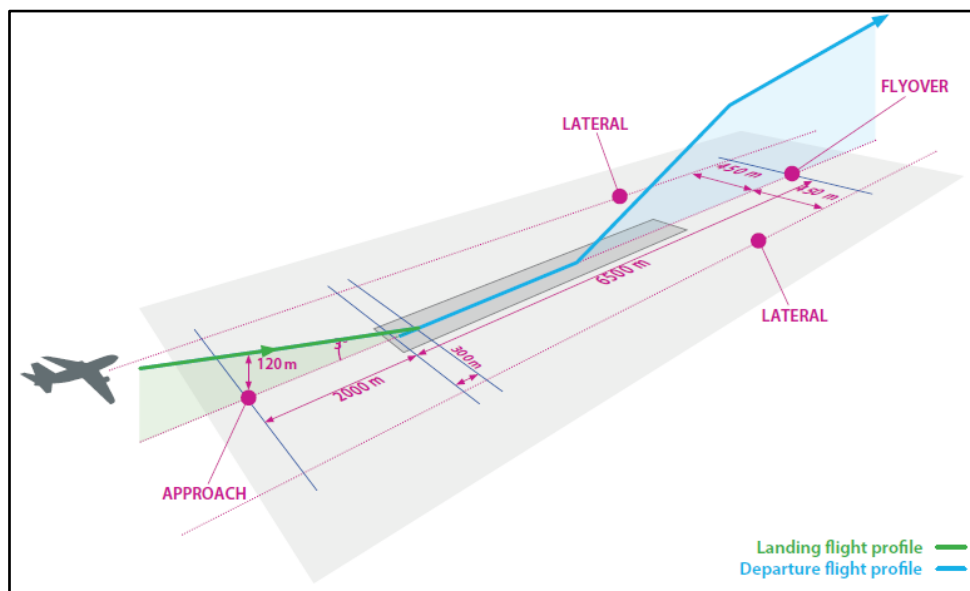


Figura 18. Puntos de medición para certificaciones acústicas de aeronaves [17][31]

En lo que respecta específicamente a los procedimientos operativos de aeronaves, los mismos se encuentran especificados en el documento “Procedures for Air Navigation Services. Vol I. ICAO (PANS-OPS) [32]”

Por otro lado, el gobierno de los Estados Unidos estableció el “Noise Abatement Policy Act” de 1976 para establecer las responsabilidades del impacto del ruido entre la Federal Aviation Administration (FAA), aerolíneas, operadores de aeropuertos, y las comunidades afectadas. A lo largo de los años se han hecho modificaciones adicionales a la responsabilidad de cada identidad sobre el impacto del ruido de aviones, incluyendo el “Aircraft Safety and Noise Abatement Act” de 1979 y el “Airport Noise and Capacity Act” de 1990 [33]. Estas leyes federales forman la base para el programa de control de ruido de aviones y uso compatible de suelos establecido en la F.A.R. Parte 150 [1].

4.7.2. A nivel nacional

La Argentina lo expresa en el art. 41 de su Carta Magna, reformada en 1994, al consagrar (a) el derecho de todos sus habitantes a gozar de un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano, (b) el principio de responsabilidad

intergeneracional, (c) el deber de preservar el ambiente, y (d) la obligación de recomponer el daño ambiental. El art. 43 concede acción expedita y rápida de amparo en caso de que en forma actual o inminente se lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por esta Constitución, un tratado o una ley. Entre ellos se alude expresamente a los derechos que protegen al ambiente, así como a los derechos de incidencia colectiva. La acción puede ser ejercida por el afectado, el defensor del pueblo y las asociaciones que propendan a esos fines, registradas conforme a la ley.

El Código Aeronáutico de 1967 (Ley 17285) carece de referencias expresas al cuidado del ambiente. La norma más próxima es el art. 155 (CAPITULO II, del TÍTULO VII), referido a la responsabilidad por los daños a terceros en la superficie. En él se concede derecho a reparar los daños sufridos por un tercero en la superficie “con sólo probar que los daños provienen de una aeronave en vuelo o de una persona o una cosa caída o arrojada de la misma o del ruido anormal de aquélla. Sin embargo, no habrá lugar a reparación si los daños no son consecuencia directa del acontecimiento que los ha originado.” Se trata de una responsabilidad objetiva, extracontractual, cuantitativamente limitada al peso de la aeronave, con un monto infranqueable, garantizada con la toma obligatoria de seguros, con exoneración total o parcial de la responsabilidad del explotador en caso de dolo o culpa de la víctima, y con un alcance de la reparación limitado solamente a las consecuencias directas.

La Argentina, además, ratificó el Acuerdo Marco sobre Medio Ambiente del MERCOSUR, el cual está en vigor entre sus cuatro estados miembro [30].

En función de los descripto anteriormente, se observa que, por el momento, en Argentina no existe ninguna legislación nacional vigente específica sobre ruido aeronáutico.

4.8. Medidas de mitigación

La política de mitigación adoptada por OACI, bajo la denominación de “Aproximación equilibrada” (*Balanced Approach*), recomienda el estudio caso por caso de la situación en cada aeropuerto y aplicar la mezcla más eficiente de cuatro elementos:

- 1- Reducción de ruido en la fuente.
- 2- Optimización de procedimientos operativos.

- 3- Políticas de uso de suelo
- 4- Restricción de operaciones de los aviones más ruidosos.

4.8.1. Reducción de ruido en la fuente

Entre las primeras medidas que se implementaron para disminuir el ruido de los motores en las aeronaves, se tiene el uso de silenciadores o “hushkits”; por este método, las turbinas de los aviones son desensambladas y sometidas a un rediseño de su cubierta, en algunos casos cambio de partes y hasta el cambio de motores.

La eficiencia de los hushkits no es mucha, en la mayoría de los casos se logran reducciones de 1 a 2 EPNdB y en raras ocasiones no más de 4 EPNdB. Aun así, estas pequeñas reducciones hacen que la aeronave certifique, pero con el nivel justo. Por lo que ésta fue una solución muy utilizada en los primeros años de la introducción de aeronaves etapa 3 [16].

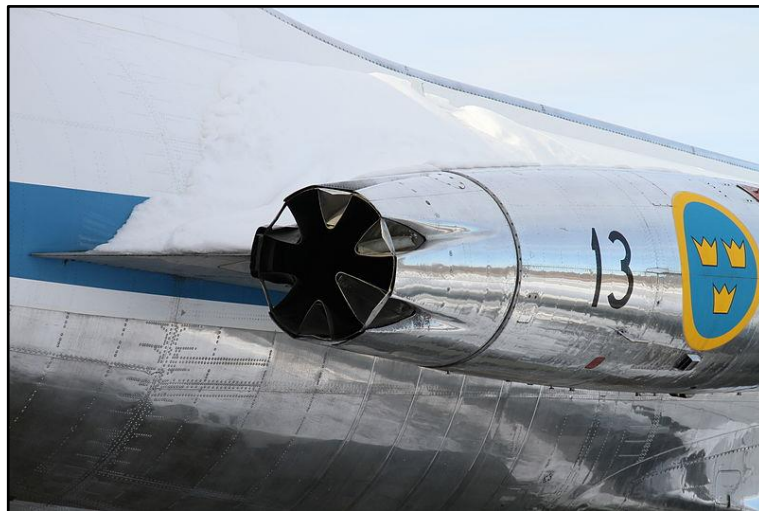


Figura 19. Hush-kit en el motor de una aeronave Sud Aviation Caravelle

Hacia el año 2001, Boeing, conjuntamente con la NASA y con General Electric, comenzó a desarrollar un dispositivo similar a los antiguos hushkits, el cual permitiera reducir en mayor medida el ruido generado por el motor.

Tras muchas horas de simulación, de túnel de viento e incluso de ensayos en vuelo, se llegó a la solución que vienen adoptando en sus motores desde hace unos años: los chevrones [34].

Para entender su funcionamiento, hay que tener presente que en la tobera del motor se juntan tres flujos de aire con propiedades muy diferentes:

- El flujo primario, es decir, el aire quemado procedente de la cámara de combustión. Es expulsado por la tobera a altas temperaturas y gran velocidad.
- El flujo secundario, o sea, el aire acelerado por el fan, pero que no es quemado. Debido al efecto de aceleración del fan, el aire sale algo más caliente de lo que entró.
- El flujo externo, a temperatura ambiente y a una velocidad igual a la velocidad del avión.

El choque de los tres flujos a diferentes temperaturas y sobre todo a velocidades muy diferentes es una de las principales fuentes de ruido en un avión por el alto nivel de turbulencia que genera.

Esos dientes de sierra están colocados alrededor del motor con la idea de mejorar la mezcla de los diferentes flujos de aire, por lo que estos se juntan de forma más suave (menos turbulenta) y por tanto menos ruidosa.

Tras muchas horas de pruebas, Boeing estima que los chevrones ayudan a reducir el ruido unos 4 o 6 decibelios. No es mucho, de hecho, se probaron otras soluciones que mostraban mejores resultados en términos de amortiguación del sonido. Pero no hay que olvidar que colocar artefactos que perturben la expulsión del aire del motor conduce a una pequeña disminución de la potencia. Los chevrones resultaron ser el mejor compromiso entre reducción de ruido y pérdida de prestaciones: se estima que apenas se pierde un 0.25% de potencia a pleno régimen [35].



Figura 20. Chevrons en el motor de una aeronave Boeing 787

4.8.2. Procedimientos operativos

Una de las maneras de atenuar el problema de ruido en las cercanías del aeropuerto es mediante la modificación de los perfiles de vuelo.

Siguiendo el perfil de vuelo de una aeronave, las dos situaciones de mayor problema de ruido, son las de despegue y aterrizaje, debido principalmente a su cercanía a tierra; de estas dos, la más crítica es la de despegue, por un requerimiento extra de potencia para lograr el ascenso.

El objetivo principal de la etapa de ascenso es alcanzar la altitud a la que la aeronave comenzará el vuelo de crucero. Durante esta fase, van variando diferentes parámetros como son: la densidad del aire, el peso de la aeronave, la resistencia aerodinámica, el consumo específico de combustible, entre otros.

4.8.2.1. Procedimiento de despegue Standard

Los segmentos en que se suele dividir un despegue Standard son [36][37]:

- 1^{er} segmento: Comienza cuando se separan las ruedas de la pista. En este primer segmento el tren de aterrizaje esta fuera o recogándose, los flaps en posición de despegue y los motores con empuje de despegue (con un motor inoperativo).
- 2^o segmento: Empieza en el momento en que el tren está completamente recogido. El cambio que existe entre el 1er y 2o segmento corresponde a una configuración diferente del avión. Este segmento puede acabar:
 - Como mínimo a 400 ft de altura sobre la pista.
 - En la máxima altura de vuelo nivelado, que se define como aquella altura en que el avión es capaz de dejar de subir, acelerar hasta la velocidad de meter flaps y slats, y continuar acelerando hasta la velocidad de segmento final dentro del tiempo límite durante el cual se puede disponer del empuje o potencia de despegue. El factor más importante para determinar en cada caso cuando debe acabar el 2o segmento es el de despeje de obstáculos.
- 3^{er} segmento: En este segmento el avión se acelera en vuelo nivelado, primero para recoger los flaps y slats a las velocidades correspondientes y segundo para alcanzar la velocidad del segmento final. La altura del

vuelo nivelado durante la aceleración depende del análisis del despeje de obstáculos, como mínimo deben ser 400 ft, y como máximo la ya definida como altura máxima de vuelo nivelado. El empuje en este segmento puede ser el de despegue o el máximo continuo, normalmente se utiliza el de despegue.

- Segmento final: Este segmento comprende desde el momento en que se han metido los flaps y se ha alcanzado la velocidad del segmento final, hasta una altura de 1500 ft como mínimo. El empuje o potencia es el máximo continuo. En el caso que el 3er segmento se realice en una altura superior a 1500 ft, el segmento final no existe, y la senda de despegue termina al final del 3er segmento.

En la Figura 21 se puede observar claramente los diferentes segmentos del despegue.

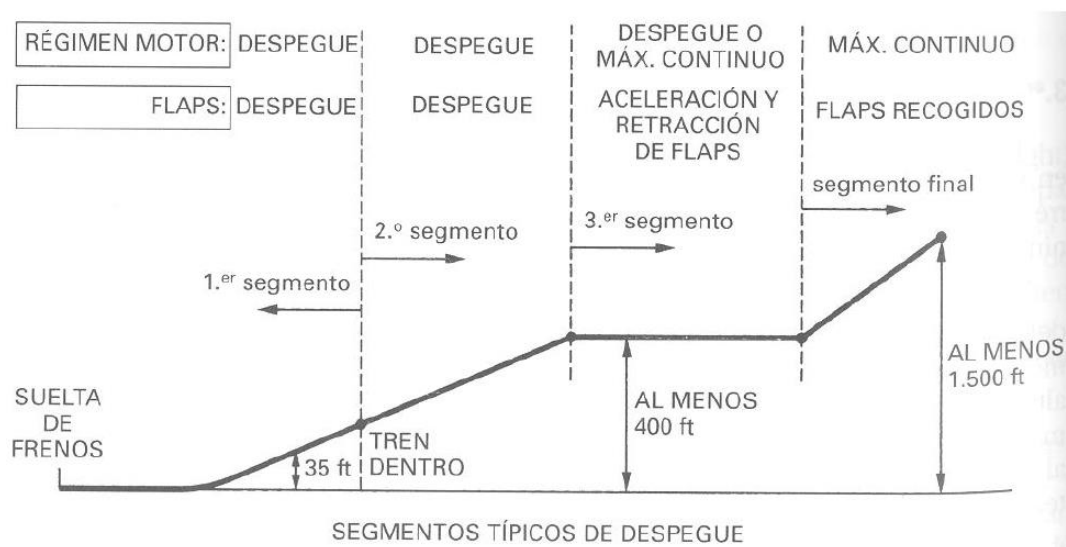


Figura 21. Etapas de un perfil de despegue Standard [37]

4.8.2.2. Procedimientos de atenuación de ruido en despegue

La OACI plantea dos posibilidades para la atenuación de ruido mediante procedimientos de despegue. Estos procedimientos se encuentran detallados en el documento “Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations Volume 1 Flight Procedures” [32].

Para ambos tipos de despegue se especifican reducciones en la potencia de los motores para una disminución del ruido a altitudes preestablecidas, para cumplir siempre con los requisitos de seguridad para la aeronave. Los mismos se describen a continuación [38]:

1) Procedimiento A / OACI-A:

- Desde la pista hasta 1500 pies sobre el terreno:
 - Empuje de despegue
 - Flaps de despegue
 - Ascenso a $V_2 + 10$ a 20 nudos
- A 1500 pies:
 - Reducir el empuje de ascenso
 - Ascenso a $V_2 + 10$ a 20 nudos
- A 3000 pies:
 - Acelerar hasta la velocidad necesaria para retraer flaps.
 - Retraer flaps/slats
 - Acelerar suavemente hasta la velocidad de ascenso en ruta

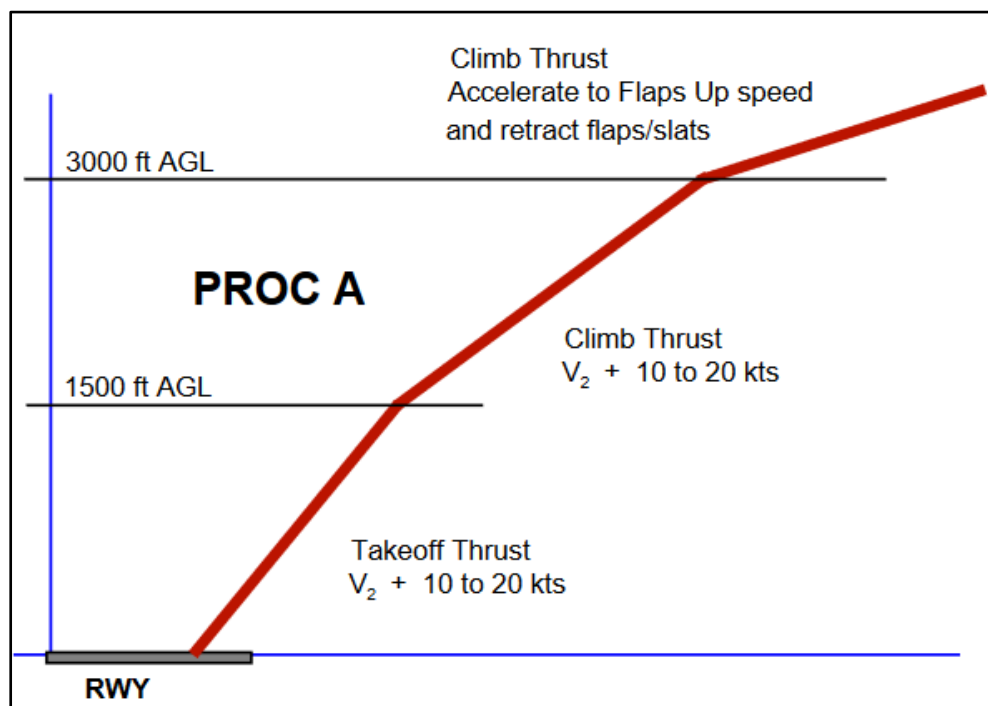


Figura 22. Perfil de despegue OACI-A [38]

2) Procedimiento B / OACI-B:

- Desde la pista hasta 1000 pies sobre el terreno:
 - Empuje de despegue
 - Flaps de despegue
 - Ascenso a $V_2 + 10$ a 20 nudos

- A 1000 pies:
 - Acelerar hasta la velocidad necesaria para retraer flaps.
 - Retraer flaps/slats
- Cuando los flaps estén retraídos:
 - Mantener la velocidad + 10 nudos máximo
 - Reducir el empuje de ascenso (*)
(*) para motores de bajo índice de derivación, reduzca el empuje a un empuje de ascenso por debajo de lo normal, pero no menos de lo necesario para mantener el gradiente de ascenso final.
- A 3000 pies:
 - Acelerar suavemente hasta la velocidad de ascenso en ruta

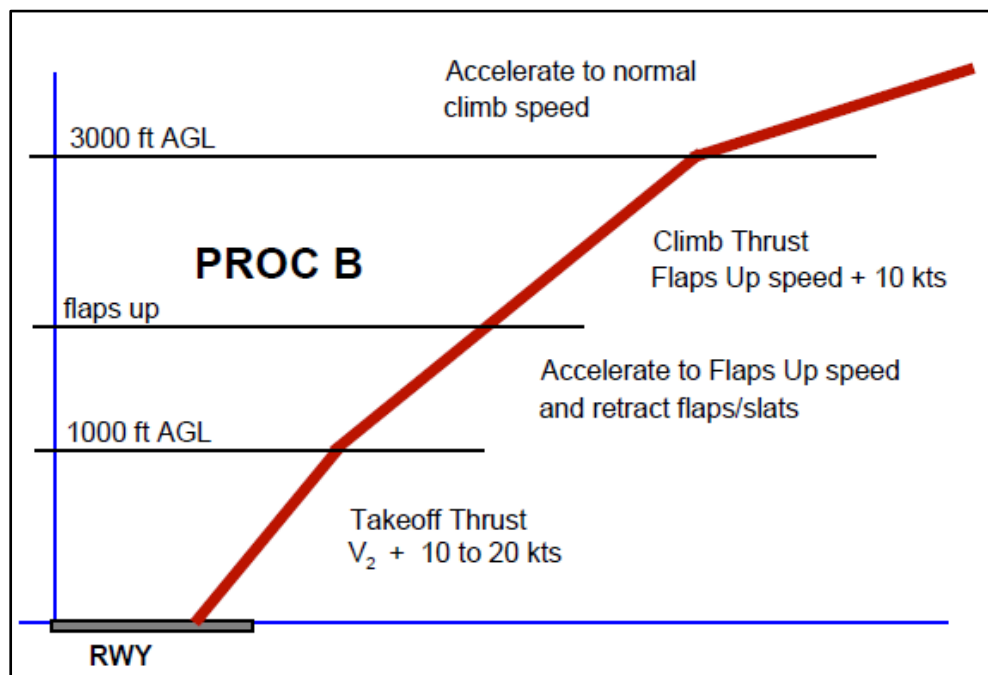


Figura 23. Perfil de despegue OACI-B [38]

De los perfiles de vuelo anteriores se debe notar que:

- “A”: Genera menor ruido para alturas superiores a los 3000 pies, pues gana altura separándose de tierra. Sin embargo, hay un efecto negativo para distancias cercanas al aeropuerto por usar mayor potencia.

- “B”: Genera mayor ruido para alturas superiores a los 3000 pies, pero disminuye la potencia en las cercanías del aeropuerto, generando menos ruido, pero al costo de tener un ascenso menos pronunciado.

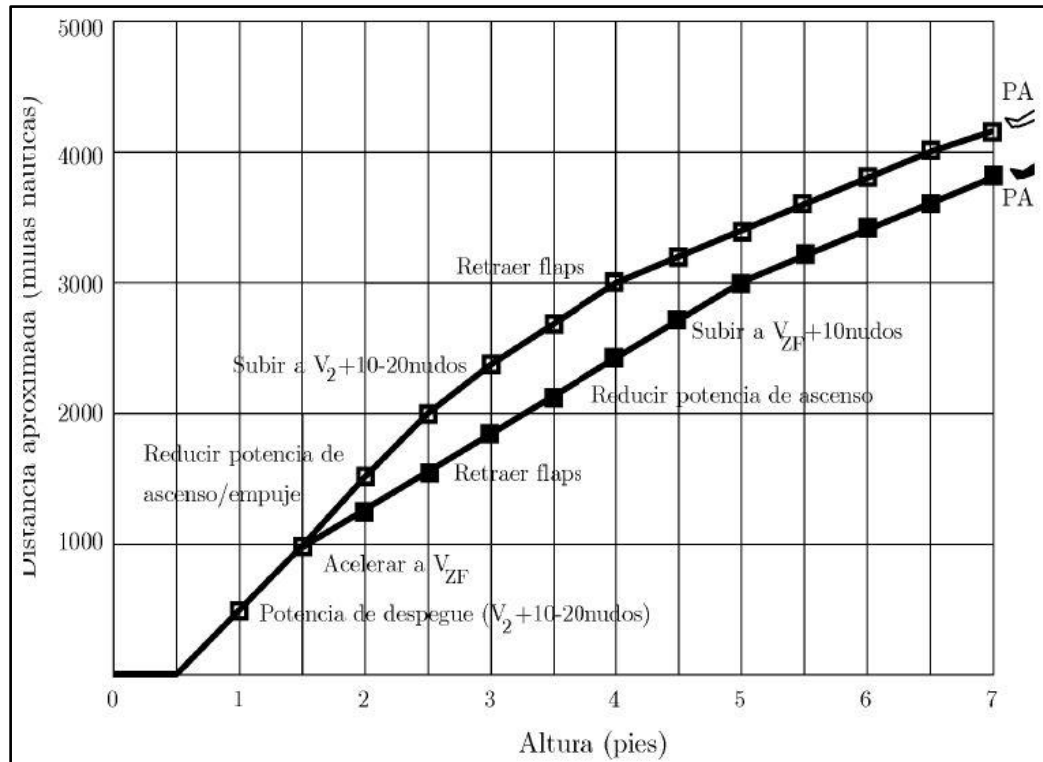


Figura 24. Perfiles de despegue OACI-A Y OACI-B [16]

Donde:

V_2 = Velocidad de falla de un motor

V_{ZF} = Velocidad mínima de maniobra a cero flaps

4.8.2.3. Procedimientos de aterrizaje

Por otro lado, si bien es cierto que los niveles de ruido para el aterrizaje son algo menores, todavía estos pueden alcanzar valores los cuales resulten incompatibles con determinados usos del suelo; más aún si se trata de aeronaves antiguas. En la siguiente figura se muestran tres posibilidades para el aterrizaje, extraídas del libro “Aircraft Noise” de M.J.T. Smith [39] e indicadas por la FAA en su “Airplane Flying Handbook” [40]:

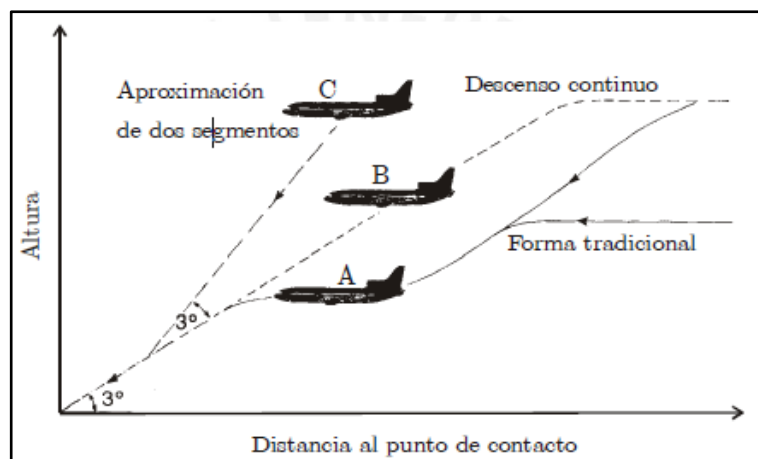


Figura 25. Distintas configuraciones de aterrizaje. Fuente: "Aircraft Noise"

En el descenso tradicional 'A', el avión efectúa un descenso previo para luego iniciar el descenso final con una pendiente de 3°. Durante el descenso los flaps se contraen en una configuración "sucia" (de máximo arrastre), el tren de aterrizaje se libera y la potencia de motores se mantiene en un punto cercano al máximo; todo eso crea una gran cantidad de ruido. En este descenso, la poca distancia del avión a tierra, crea una gran cantidad de ruido sobre la población.

Una manera de alejar al avión de tierra, en las primeras etapas de la aproximación, consiste en un descenso continuo de 3°, esta forma además de favorecer las zonas un poco más alejadas del aeropuerto tiene la ventaja de ahorrar combustible, por lo que este método es preferido por las compañías aéreas.

Un tercer método C, de doble pendiente mejora aún más el efecto de disminución del ruido al tener inicialmente una pendiente de aproximación de 6° para luego empalmar con el ángulo de seguridad de aterrizaje de 3°. Si bien acústicamente es más eficiente este método, no es aceptado por los riesgos en la seguridad del vuelo debido a que el empalme entre los dos ángulos debe realizarse a una altura aproximada de 150m. Con la posible falta de espacio y tiempo para efectuar maniobras de seguridad [16].

En cualquiera de los casos, el sistema de aproximación instrumental (ILS) exige mantener una aproximación rectilínea de 3° de pendiente, en la fase final de la operación.

Finalmente, otro control operacional que puede ser usado, es el uso de pistas preferentes y procedimientos especiales para los tipos de aviones más ruidosos, con reducciones de régimen de motor, si la seguridad lo permite, al sobrevolar zonas densamente pobladas.

4.8.3. Uso de suelo

Fuera del recinto aeroportuario, las competencias sobre restricciones en el uso del suelo son normalmente de los municipios vecinos, cuyas ordenanzas pueden limitar el tipo de uso de terrenos sometidos a unos ciertos niveles acumulativos de ruido. Generalmente estas restricciones se aplican empleando huellas acústicas y los aeropuertos pueden tener que sufragar los gastos de aislamiento acústico de viviendas e incluso el traslado de sus moradores a otros lugares. La prohibición de edificar viviendas en las zonas afectadas ocasiona una importante pérdida de valor de los terrenos, por lo que los propios municipios suelen ser los más interesados en reducir todo lo posible el impacto acústico de los aeropuertos.

Una consideración adicional a tener en cuenta es la creciente sensibilidad de la población al ruido ambiente, considerando hoy como una molestia importante niveles de ruido tolerables hace unas décadas.

La clasificación más habitual de usos de suelo, en orden de ruido decreciente tiene 5 categorías [5]:

- Zonas sin uso permitido, generalmente dentro del recinto aeroportuario.
- Zonas aceptables para usos agrícolas o ganaderos e instalaciones deportivas.
- Zonas para instalaciones industriales y empresas de servicios.
- Zonas aceptables para viviendas.
- Zonas de todo uso, incluidos hospitales y escuelas.

Algunos problemas técnicos para la zonificación provienen del hecho de que la unidad elegida para la certificación acústica de las aeronaves (EPNdB) no tiene traducción directa al dBA, que es la más usada en entornos urbanos.

Muchas veces la presión social por la búsqueda de nuevos lugares para vivir, hace que las zonas urbanas se acerquen y rodeen a los aeropuertos. Este problema es causado en parte por las municipalidades que otorgan licencias de construcción en zonas que deberían ser utilizados para la industria, pulmones de la ciudad, etc. Lo cual hace que estas zonas se pueblen y con el tiempo se incremente su densidad demográfica.

Una vez que se llega a esta situación es muy poco lo que se puede hacer, desde el punto de vista de la zonificación y sus posibles soluciones (ver página 49), son económicamente prohibitivas para un país como Argentina.

4.8.4. Restricción de operaciones

Los aeropuertos, en la mayoría de los casos, pueden emplear los valores de ruido certificados para introducir restricciones de diferentes formas:

- Basándose en los diferentes capítulos del Anexo 16, prohibiendo el acceso de los modelos que no cumplan ciertos límites (en la Unión Europea no se aceptan modelos que no cumplan al menos con el Capítulo 3 desde abril de 2002) o introduciendo un sistema de tasas relacionadas con el ruido certificado, más oneroso para los modelos que tienen menos margen con respecto a los niveles de certificación, como en los aeropuertos franceses.
- También pueden usar estas cifras para establecer categorías de niveles de ruido absolutos (no en función del MTOW). Heathrow y Barajas prohíben los vuelos nocturnos de aviones que no estén por debajo de límites establecidos por dos parámetros: el ruido certificado en aterrizaje y la media del ruido certificado en despegue y lateral. Este sistema penaliza claramente a las aeronaves de mayor tamaño.
- Un tercer sistema es el establecimiento de cuotas de ruido por temporadas de programación para cada línea aérea, concediendo autorizaciones a las compañías hasta alcanzar una cifra de ruido certificado acumulado, como hace Charles De Gaulle en todo el día y Barajas en período nocturno (23:00 a 07:00).

En otros casos se prefiere el uso de valores de ruido reales, medidos por un sistema monitor, para controlar el ruido de movimientos individuales o el impacto colectivo:

- Colocación de un micrófono en uno o más puntos estratégicos, con un nivel máximo de ruido aceptable, como en el aeropuerto J. F. Kennedy de Nueva York, cuya superación implica primero multas y, si es un hecho reiterado, puede llegarse hasta la prohibición de operar un cierto tipo de avión.

- Penalización económica de los aviones más ruidosos dentro de una determinada categoría (por ejemplo, birreactores de 100 a 150 plazas), según la estadística del ruido medido en determinados puntos del recinto aeroportuario, como se hace en Frankfurt y en otros aeropuertos alemanes
- Cumplimentación anual de una huella de impacto acústico global, pactada con las comunidades vecinas al aeropuerto y limitar de esta forma el número de movimientos permisible, procedimiento empleado en Ámsterdam.

Los estados más desarrollados acostumbran a utilizar la normativa del Anexo 16 como un sistema para ir retirando los modelos más ruidosos, a medida que aparecen nuevos límites regulatorios, en una secuencia que primero prohíbe la fabricación, seguidamente la importación y finalmente la operación de tales aeronaves. Así, en los primeros años 90, la mayoría de los países de la OCDE prohibieron la operación de aviones sin certificado de ruido. Mientras que, entre 2000 y 2002, hicieron lo propio con aquellos que solo cumplían con los límites del Capítulo 2.

La aprobación por la Asamblea de OACI del Capítulo 4, aplicable a nuevos modelos certificados después el 01/01/2006, llevaba adjunta la condición de que no se emplease esa norma para propiciar la retirada forzosa de modelos que sólo cumpliesen el Capítulo 3. Pese a ello, numerosos aeropuertos (no países) están procediendo a restringir durante ciertos períodos el acceso de aviones “Capítulo 3 menos 5 EPNdB” u otros mecanismos semejantes [5].

4.8.5. Otras medidas de control

Entre otras medidas de control existen dos que son las más importantes:

- ✓ La insonorización de viviendas y,
- ✓ la compra de terrenos.

Con ayuda de los mapas de ruido es posible determinar las zonas de la población que se encuentran más afectadas por los niveles de ruido y en este caso proceder a la insonorización de la vivienda. En estos casos es el Estado el que provee de fondos a los moradores para la insonorización. Este método es extremadamente costoso, razón por la cual sólo ha sido aplicado en países desarrollados como los EEUU e Inglaterra.

Otra forma es el cambio de vivienda para las personas que habitan en las zonas más cercanas al aeropuerto. Nuevamente el gobierno y las autoridades aeroportuarias son las encargadas de financiar estos proyectos.

5. Desarrollo

5.1. Proceso metodológico

Para llevar a cabo el presente análisis se siguió una serie de pasos los cuales serán descriptos a continuación:

- 1°) Se realizó una recopilación y análisis previo de la bibliografía disponible referida al tema de estudio.
- 2°) De la totalidad de aeropuertos pertenecientes al Sistema Nacional de Aeropuertos (SNA), se discriminó en primer lugar, los correspondientes al Grupo A, es decir, aquellos cuyo funcionamiento esta concesionado a la empresa Aeropuertos Argentina 2000. Luego, a fin de determinar los aeropuertos más relevantes para someterlos a análisis, se procedió a aplicar una serie de criterios relacionados a cuestiones operativas y del entorno urbano inmediato.
- 3°) Se estudiaron distintas medidas de mitigación a fin de reducir la contaminación acústica en el entorno aeroportuario y de esa manera reducir el número de personas alcanzadas por niveles críticos de ruido.
- 4°) En primer lugar, se obtuvieron y analizaron los mapas estratégicos de ruido correspondientes a cada uno de los aeropuertos seleccionados, contemplando distintos procedimientos de despegue. Esto se hizo, en función de un escenario operacional determinado a partir de sus planes maestros. Se establecieron mapas de ruido particulares como base de comparación.
- 5°) Se analizó la influencia de las operaciones nocturnas sobre las huellas acústicas de los aeropuertos.
- 6°) Para un aeropuerto seleccionado, se obtuvieron nuevos mapas de ruido para una trayectoria alternativa de despegue propuesta, tendiente a disminuir la población alcanzada por niveles críticos de presión sonora y se la comparó con otra trayectoria definida como trayectoria original.
- 7°) Se caracterizó la mezcla operativa del aeropuerto seleccionado y se determinó la aeronave más representativa en términos de cantidad de operaciones diaria. A continuación, se obtuvieron los mapas de ruido de ésta y otras aeronaves las cuales fueron propuestas como posibles alternativas de reemplazo a la primera.

- 8°) Se obtuvieron y analizaron los mapas de ruido correspondientes a la aeronave seleccionada en función de su peso al despegue.
- 9°) Se obtuvieron y analizaron los mapas de ruido correspondientes a la aeronave seleccionada en función del motor utilizado.
- 10°) Se procedió a validar la efectividad de las medidas planteadas.
- 11°) Se extrajeron conclusiones y recomendaciones.

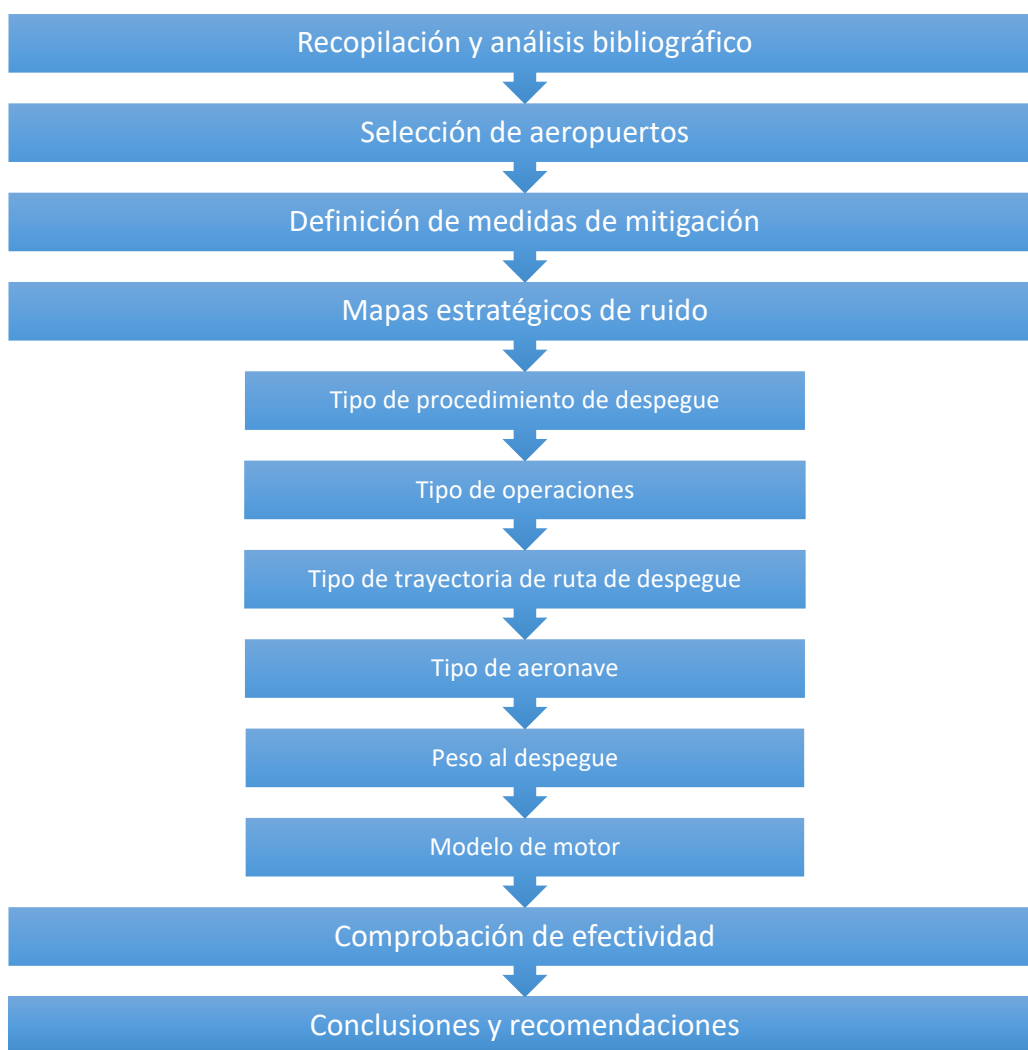


Figura 26. Proceso metodológico. Fuente: Elaboración propia

5.2. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno para este análisis son:

- Mezcla de tráfico suministrada teniendo en cuenta varios factores implícitos, a saber: tipo de aeronave, peso de despegue, tipo de movimiento (despegue o aterrizaje), pista utilizada, entre otros.
- Configuración de pistas.
- Emplazamiento del aeropuerto.
- Horario de funcionamiento de cada aeropuerto según lo especificado por ANAC en sus AIP (Airport Information Publication)

5.3. Hipótesis

Las hipótesis principales para las simulaciones son en primer lugar, el uso de la normativa FAR Parte 150 (AC 150/5020-1) como referencia; de allí se desprende el uso de la métrica DNL y, en segundo lugar, las recomendaciones de la FAA sobre el uso de la métrica SEL para estudiar eventos individuales [41][42]. El resto de hipótesis de trabajo se desarrollan a continuación:

- Temperatura de referencia: de acuerdo con el Aeronautics Information Publication (AIP) de cada aeropuerto bajo análisis.
- Viento de proa de 8 nudos. Este valor es estándar para el cálculo de los coeficientes utilizados por el algoritmo del software.
- En relación a la mezcla de tráfico, se asumen las tablas especificadas en el Plan Maestro de cada aeropuerto. En una primera parte, para contemplar el caso más desfavorable, se supuso que los movimientos de despegue se realizaron con el peso máximo establecido para cada aeronave. También se adoptaron los motores con mayor potencia dentro de las posibilidades de elección en el software.
- También con respecto a la mezcla de tráfico, se realizarán sustituciones por aeronaves con coeficientes de ruido similares (estos son utilizados por el programa para realizar los cálculos), debido a que el software no dispone de los datos de ruido de todas las aeronaves incluidas en mezcla.
- Con respecto a los procedimientos, para la obtención de los primeros mapas de ruido, se asumió que las operaciones de aproximación se realizaron en tramos rectos de 10 millas náuticas anteriores al umbral de

pista, y las de despegue en tramos rectos de 10 millas náuticas a partir del extremo de la pista.

5.4. Criterio de análisis

El análisis se desarrolló bajo la premisa de que las variables que se contemplan, producen las condiciones más desfavorables. Es por ello que los resultados del presente informe se obtuvieron partiendo de considerar la etapa de Máximo Desarrollo (MD) de cada aeropuerto, la cual se corresponde con la configuración última del aeropuerto en la localización existente, incluye reserva de áreas y se define en función de la máxima capacidad operativa que permite el diseño geométrico del área de movimiento y los pasajeros asociados que esta distribución admite, manteniéndose el perfil actual de demanda.

Por otra parte, es necesario aclarar que no se contemplaron las operaciones de aviación general o vuelos de tipo no regular. Asimismo, se excluye del presente trabajo cualquier consideración tanto técnica como económica, las cuales tengan que ver con el aeropuerto, las aeronaves, los motores, las rutas de aproximación y despegue, las medidas de mitigación operacionales y demás variables aquí planteadas.

A continuación, se detalla el proceso para el cálculo de la población afectada, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Obtención de huellas de ruido:

El análisis de ruido en los aeropuertos bajo estudio se llevó a cabo mediante el uso de software específico Aviation Environmental Design Tool versión 2d desarrollado por la Federal Aviation Administration (FAA). Para poder realizar la simulación se adoptaron una serie de criterios que se detallan a continuación.

Para la obtención de los mapas estratégicos de ruido existen distintas métricas y métodos de cálculo, todas ellas reguladas por OACI. Ésta a su vez, delega en cada Estado las facultades de regularizar y normalizar los métodos de cálculo de dichos mapas. Dado que la República Argentina no posee normativa al respecto, se decide utilizar tanto aquellas métricas que recomienda OACI [43], como las utilizadas por los Estados Unidos [1].

Por ejemplo, para el cálculo de la población alcanzada se recomienda, según la OACI, “Un método común de medición de dichos criterios se basa en el número de personas que se encuentra dentro de una curva de

nivel de ruido establecida bajo un índice de ruido específico ...” De allí se desprende el uso de la métrica DNL.

Como se mencionó anteriormente, si bien la métrica utilizada permite la comparación de distintas fuentes puntuales acumuladas a lo largo del día, cabe destacar que representa escenarios críticos de ruido y, más aún en condiciones de ruido de fondo nulas como las estudiadas en el presente informe técnico.

- Radios censales

Para los aeropuertos abordados se definió de manera dinámica el área de influencia mediante la superposición de información digitalizada y actualizable en un sistema de información geográfica libre y de código abierto: Quantum GIS, versión 3.2.2. Las capas más significativas del trabajo, que constituyen información estratégica para ser integrada, se elaboraron ingresando imágenes vectoriales en el programa.

Respecto a los radios censales, la cartografía fue elaborada por el INDEC para el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, 2010 (CNPHyV 2010) en base a información provista por las Direcciones Provinciales de Estadística (DPE). Representa la ubicación de las unidades geográficas empleadas en el censo, acompañadas con su código, nombre e información estadística asociada.

Estos radios varían con cada censo en función del crecimiento de la población; por este motivo, dependiendo de la ciudad a la que pertenecen, se van modificando, o sea, no son de tamaño homogéneo, ya que el dato de importancia es la cantidad de personas que se encuentran dentro y no el área que comprenden los mismos [44].

5.5. Sistema Nacional Aeroportuario

El Sistema Nacional Aeroportuario está formado por 55 aeropuertos, de los cuales 40 se encuentran concesionados, y entre ellos, 35 pertenecen al Grupo A, estos son los de mayor importancia dentro del país dada la magnitud de tráfico que manejan, el tipo de aeronaves de mayor porte que pueden operar en los mismos y, las instalaciones y servicios que prestan. Como se mencionó anteriormente, en el presente estudio se busca cuantificar la población afectada por el ruido producido por las aeronaves, las cuales operan en 5 aeropuertos a seleccionar, los cuales posean una situación crítica respecto al entorno urbano

inmediato y a diferentes escenarios operativos, en referencia al número de pasajeros y operaciones.

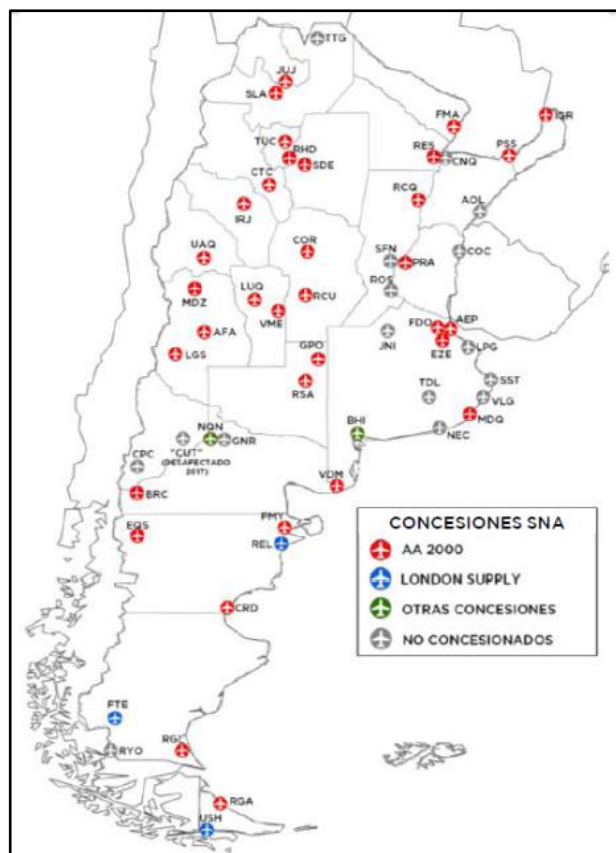


Figura 27. Sistema Nacional de Aeropuertos (SNA). Fuente: ORSNA

En la figura anterior, no es demarcado el Aeropuerto de El Palomar, el cual fue incorporado al Sistema Nacional de Aeropuertos mediante el Decreto Nacional 1.092/2017, publicado en el Boletín Oficial el 22 de diciembre de 2017.

Aeropuertos Grupo A			
Aeroparque (AEP)	Iguazú (IGR)	Resistencia (RES)	General Pico (GPO)
Bariloche (BRC)	Jujuy (JUJ)	Río Cuarto (RCU)	Reconquista (RCQ)
Catamarca (CTC)	La Rioja (IRJ)	Río Gallegos (RGL)	San Rafael (AFA)
Comodoro Rivadavia (CRD)	Malargue (LGS)	Río Grande (RGA)	Santa Rosa (RSA)
Córdoba (COR)	Mar del Plata (MDQ)	Río Hondo (RHD)	Sto. Del Estero (SDE)
El Palomar (EPA)	Mendoza (MDZ)	Salta (SLA)	Tucumán (TUC)
Esquel (EQS)	Paraná (PRA)	San Fernando (FDO)	Viedma (VDM)
Ezeiza (EZE)	Posadas (PSS)	San Juan (UAQ)	Villa Mercedes (VME)
Formosa (FMA)	Puerto Madryn (PMY)	San Luis (LUQ)	

Tabla 2. Aeropuertos Grupo A. Fuente: Elaboración propia

5.5.1. Selección de aeropuertos

En orden de identificar los aeropuertos que presenten una situación crítica desde el punto de vista acústico para luego ser sometidos a análisis, se establecieron una serie de filtros los cuales permitieron excluir aquellos aeropuertos de los cuales:

5.5.1.1. Filtro N°1: Información disponible

Se dispone de suficiente información respecto a contaminación acústica proveniente de estudios realizados anteriormente.

- Aeropuerto de Ezeiza (EZE)
- Aeroparque (AEP)
- Aeropuerto de Córdoba (COR)
- Aeropuerto de El Palomar (EPA)

5.5.1.2. Filtro N°2: Poblaciones cercanas

Se encuentran emplazados en terrenos convenientemente alejados de la población. En el caso de que presenten asentamientos urbanísticos en su entorno inmediato, se seleccionaron aquellos considerados más relevantes en función de la orientación de las pistas, límites del aeropuerto, número de viviendas en la dirección de las cabeceras de pistas, loteos, entre otros.

- Bariloche (BRC)
- Catamarca (CTC)
- Comodoro Rivadavia (CRD)
- Esquel (EQS)
- General Pico (GPO)
- Iguazú (IGR)
- La Rioja (IRJ)
- Puerto Madryn (PMY)
- Reconquista (RCQ)
- Resistencia (RES)
- Río Cuarto (RCU)
- Río Hondo (RHD)
- San Juan (UAQ)
- San Luis (LUQ)
- San Rafael (AFA)
- Tucumán (TUC)
- Viedma (VDM)
- Villa Mercedes (VME)

5.5.1.3. Filtro N°3: Tipo de actividad

Cuyo principal uso es privado, operando en los mismos, aeronaves de pequeño o mediano porte.

- San Fernando (FDO)

5.5.1.4. Filtro N°4: Número de pasajeros

El número de pasajeros que circularon por sus instalaciones no supere los 120.000 anuales, según datos del año 2017

• Mendoza (MDZ)	888.078
• Salta (SLA)	575.621
• Mar del Plata (MDQ)	150.154
• Río Gallegos (RGL)	134.765
• Jujuy (JUJ)	134.701
• Posadas (PSS)	104.486
• Río Grande (RGA)	74.903
• Formosa (FMA)	52.757
• Paraná (PARA)	52.010
• Santiago del Estero (SDE)	49.269
• Santa Rosa (RSA)	22.884
• Malargüe (LGS)	654

5.5.1.5. Filtro N°5: Cantidad de operaciones

La cantidad de operaciones de vuelo, tanto arribos como partidas, no supere los 2.000 movimientos anuales, según datos de 2017

• Mendoza (MDZ)	16.254
• Salta (SLA)	10.386
• Mar del Plata (MDQ)	3.619
• Jujuy (JUJ)	3.181
• Río Gallegos (RGL)	2.535
• Posadas (PSS)	1.920
• Río Grande (RGA)	1.588
• Santiago del Estero (SDE)	1.220
• Paraná (PARA)	1.208
• Formosa (FMA)	1.197
• Santa Rosa (RSA)	611
• Malargüe (LGS)	45

En función de los análisis precedentes se seleccionaron los siguientes cinco aeropuertos, en los cuales se establecerán distintos escenarios operativos y se aplicarán medidas de mitigación con el fin de reducir la afectación acústica sobre la población circundante:

Aeropuertos seleccionados				
Mendoza (MDZ)	Salta (SLA)	Mar del Plata (MDQ)	Jujuy (JUJ)	Rio Gallegos (RGL)

5.5.2. Descripción general de los aeropuertos seleccionados

A continuación, se realiza una breve descripción de los aeropuertos seleccionados en la cual se detallan distintas características de los mismos como su ubicación geográfica, número de pistas, orientación de las mismas, detalles de infraestructura, entre otros. Además, se analizará la normativa referida a contaminación acústica en la zona donde se encuentren emplazados.

5.5.2.1. Aeropuerto de Mendoza

Más conocido coloquialmente como “El Plumerillo”, (IATA: MDZ, OACI: SAME) es el aeropuerto internacional que da servicio a la Ciudad de Mendoza, en la provincia de Mendoza, Argentina. Según el número de pasajeros, es el cuarto aeropuerto de mayor tráfico en Argentina, después de Ezeiza, Aeroparque y Córdoba.



Figura 28. Aeropuerto Internacional de Mendoza. Fuente: Google Earth

El aeropuerto se encuentra ubicado a 11 kilómetros del centro de la Ciudad de Mendoza. Cuenta con una terminal de pasajeros de 10.600 m² organizada en dos niveles. En el nivel inferior se encuentran, los mostradores de check in, oficinas de las aerolíneas, el área de recepción de valijas, un café, y algunos comercios; mientras que en la superior se encuentran oficinas administrativas y zonas de preembarque y embarque. Cuenta con cinco puertas de embarque, y tres mangas telescópicas.

En 2014 comenzó una amplia modernización con una inversión total de 150 millones de pesos, reflejados en 12.000 nuevos m² para la terminal.

Ciudad:	Mendoza
Provincia	Mendoza
Nombre del aeropuerto	Francisco Gabrielli - El Plumerillo
Concesionado	Si
Explotador	Aeropuertos Argentina 2000 S.A.
Administrador	Sr. Pablo Seiro
Jefe del aeropuerto (ANAC)	Alejandro Barrionuevo
Superficie total	530,3 hectáreas
Sup. concesionada	324,1 hectáreas
Sup. terminal de pasajeros	12.800 m ²
Pistas	18/36 (2.835 m x 54 m) Hormigón
Código de identificación	ANAC (DOZ)

Figura 29. Características Aeropuerto Internacional de Mendoza. Fuente: ORSNA. 2018

AD 2.12 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTAS								
RWY	Orientación (mag)	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	Coordenadas THR	Elevación (THR)	SWY (m)	CWY (m)	Franjas
18	181°	2835x54	Hormigón, 97/R/B/W/T	324909,03S 0684733,67W	2290 FT 698 m		300x150	2955x300
36	001°	2835x54	Hormigón, 97/R/B/W/T	325039,56S 0684735,02W	2310 FT 704m		350x150	2955x300

Figura 30. Características físicas de las pistas - MDZ. Fuente: AIP – ANAC

Normativa local vinculada al ruido

La Ordenanza N°2976/13353/90 "Instrumentando medios tendientes a prevenir la contaminación ambiental en la ciudad de Mendoza", en el Título V, "Contaminación Sonora", trata el tema de los ruidos, prohibiéndose "producir, causar, estimular, no impedir cuando fuere factible, o provocar ruidos vibraciones u oscilaciones, cualquiera sea su origen, cuando por razones de horario, lugar, calidad y/o grado de intensidad puedan ser calificados como ruidos molestos..." La Ordenanza contempla en su parte final medidas punitivas que involucran una detallada descripción de infracciones y sus correspondientes multas. No se proponen medidas de prevención. Cabe aclarar que la presente normativa no contempla niveles de ruido permisibles de origen aeronáutico, como así tampoco valores de referencia.

5.5.2.2. Aeropuerto de Salta

El Aeropuerto Internacional Martín Miguel de Güemes (IATA: SLA, OACI: SASA), se encuentra ubicado a 7 km hacia el suroeste del centro de la ciudad de Salta, capital de la provincia homónima en la República Argentina. Según datos oficiales, en función del volumen de pasajeros, esta terminal aeroportuaria se consolida como la más transitada de la región Noroeste y una de las de mayor importancia del país. El aeropuerto se encuentra junto a la Ruta Nacional 51, kilómetro 5.

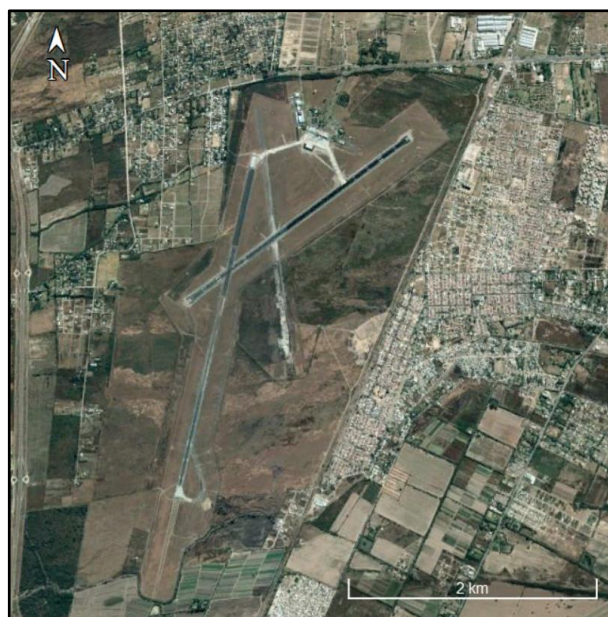


Figura 31. Aeropuerto internacional de Salta

Aeropuertos Argentina 2000 se hizo cargo de las operaciones del complejo el 8 de junio de 1999. La crisis económica del 2001 mantendría en declive por prácticamente un lustro al tráfico aéreo, notándose su peor registro en el 2003. Para el año 2008, en lo que significaría una recuperación definitiva del aeropuerto, se movilizaron más de 400.000 pasajeros.

Ciudad	Salta
Provincia	Salta
Nombre del aeropuerto	Martín Miguel de Güemes
Concesionado	Si
Explotador	Aeropuertos Argentina 2000 S.A.
Administrador	Ing. Federico Durand
Jefe del aeropuerto (ANAC)	Paulino Gerardo Vera
Superficie total	950 hectáreas
Sup. concesionada	932 hectáreas
Sup. terminal de pasajeros	12.000 m ²
Pistas	02/20 (3.000 m x 45 m) Asfalto 06/24 (2.400 m x 30 m) Asfalto
Código de identificación	ANAC (SAL)

Figura 32. Características Aeropuerto Internacional de Salta. Fuente: ORSNA. 2018

AD 2.12 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTA									
RWY	Orientación (mag)	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	Coordenadas THR	Elevación (THR)	Ondulación Geoidal (m)	SWY (m)	CWY (m)	Franjas (m)
02	019°	2989x45	ASPH 57/F/A/W/T	245222,20S 0652923,78W	4090 FT 1246,5 m	33,92			3109x300
20	199°	2989x45	ASPH 57/F/A/W/T	245046,94S 0652902,93W	4037 FT 1230,5 m	33,95			

Figura 33. Características físicas de las pistas - SLA. Fuente: AIP – ANAC

Además de la pista principal antes mencionada, el aeropuerto posee una pista secundaria 06/24, la cual tiene una longitud de 2.400 metros de largo y 30 de ancho. Luego de ser rehabilitada, volvió a estar operativa el 3 de junio de 2018 cuando aterrizó un Boieng 737-800 de Aerolíneas Argentinas procedente de Ezeiza. Sin embargo, como resultado de las intensas lluvias durante noviembre de ese mismo año, se produjeron hundimientos en la cabecera 24, por lo que la pista quedó inhabilitada en diciembre. El ORSNA afirma que ese hundimiento no es nada crítico, aunque por el momento, no hay fecha cierta de cuándo se producirá la rehabilitación.



Figura 34. Aeropuerto de Salta. Hundimientos en cabecera 24. Fuente: ORSNA

Cabe aclarar que, para los el siguiente análisis, se considerarán únicamente las operaciones realizadas por la pista principal 02/20.

Normativa local vinculada al ruido

En el caso de la ciudad de salta, la Ordenanza N° 5941, establece en su título IV, capítulo I “de los ruidos molestos a la población”, Artículo 89°: “queda prohibido causar, producir o estimular ruidos innecesarios o excesivos que propagándose por vía aérea o sólida afecten o sean capaces de afectar al público, sea en ambientes públicos o privados, cualquiera fuere la jurisdicción que sobre estos se ejercite y el acto, hecho o actividad de que se trate”

A su vez, en su Artículo 94° se explicitan los niveles a partir de los cuales el nivel de ruido puede considerarse excesivo:

Ámbito	Ruidos ambientes en dB A	Picos frecuentes en dB A		Picos escasos en dB A		
	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día
I	35	45	45	50	55	55
II	45	55	55	60	60	65
III	50	60	60	65	60	70
IV	55	60	60	70	65	75

Figura 35. Niveles de ruido excesivos. Ejido municipal de la Ciudad de Salta

A los fines del artículo anterior, el Artículo 95° designa:

- 1.) ÁMBITO I: el hospitalario o de reposo, que abarca los alrededores de todos los edificios hospitalarios sanatorios, clínicas y bibliotecas del Ejido Municipal.
- 2.) ÁMBITO II: el de vivienda, que incluye las zonas residenciales, los alrededores de colegios, escuelas y zonas de negocios pequeños.
- 3.) ÁMBITO III: el mixto, que comprende los alrededores de grandes negocios y áreas de alta densidad comercial y los edificios multifamiliares que generalmente coexisten con aquellos.
- 4.) ÁMBITO IV: el industrial, que abarca los alrededores de fábricas a industrias o actividades manufactureras en general.

5.5.2.3. Aeropuerto de Mar del Plata

El Aeropuerto Internacional Astor Piazzolla (IATA: MDQ, OACI: SAZM), se encuentra ubicado en la localidad de Camet, a unos 7 km hacia el norte del centro de Mar del Plata, en la provincia de Buenos Aires.

Se encuentra ubicado en el Km 398,5 de la Autovía 2 que une a Mar del Plata con Buenos. La rotonda de acceso se ubica apenas a 2.000 m de la rotonda de la avenida Constitución, a unos 9 km del centro de la ciudad.



Figura 36. Aeropuerto internacional de Mar del Plata

El 20 de octubre de 1998, la empresa Aeropuertos Argentina 2000 se hizo cargo de la concesión.

Durante la Cumbre de las Américas con sede en la ciudad durante el mes de noviembre de 2005, y debido al arribo de importantes mandatarios en sus respectivos aviones presidenciales, el aeropuerto fue totalmente renovado y la pista fue ampliada para permitir el aterrizaje de aviones de gran porte, como así también sometida a un bacheo integral. La terminal, por su parte, fue íntegramente renovada en un 80 por ciento.

Ciudad:	Mar del Plata
Provincia	Buenos Aires
Nombre del aeropuerto	Astor Piazzolla
Concesionado	Si
Explotador	Aeropuertos Argentina 2000 S.A.
Administrador	Horacio Vincenzetti
Jefe del aeropuerto (ANAC)	Carlos Andrés Ferro
Superficie total	490 hectáreas
Sup. concesionada	190 hectáreas
Sup. terminal de pasajeros	3.740 m ²
Pistas	13/31 (2.200 m x 45 m) Asfalto
Código de identificación	ANAC (MDP)

Figura 37. Características Aeropuerto Internacional de Mar del Plata. Fuente: ORSNA. 2018

AD 2.12 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTAS									
RWY	Orientación (mag)	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	Coordenada THR	Elevación (THR)	Ondulación Geoidal (m)	SWY (m)	CWY (m)	Franjas (m)
13	130°	2200x45	ASPH, 64/F/C/W/T	375543,88S 0573501,65W	71 FT 21,6 m	14,35			2320x300
31	310°	2200x45	ASPH, 61/R/C/W/T	375622,40S 0573345,82W	62 FT 19 m	14,32			2390x300

Figura 38. Características físicas de las pistas - MDQ. Fuente: AIP – ANAC

Normativa local vinculada al ruido

La ciudad de Mar del Plata cuenta con la Ordenanza N° 12032, la cual en su Artículo 2° establece que “Prohíbese producir, causar, estimular o provocar ruidos molestos, cualquiera sea su origen, cuando por razones de hora y lugar o por su calidad o grado de intensidad, se perturbe o pueda perturbar la tranquilidad o reposo de la población o causar perjuicios o molestias de cualquier naturaleza”

No dispone de normativas específicas que regulen el ruido producido por aeronaves.

5.5.2.4. Aeropuerto de Río Gallegos

El Aeropuerto Internacional Piloto Civil Norberto Fernández (IATA: RGL, OACI: SAWG), es un aeropuerto que se encuentra ubicado a unos 8 km hacia el noroeste del centro de Río Gallegos, en la provincia de Santa Cruz. Con una extensión de 3550 metros, posee la pista más extensa de la República Argentina.



Figura 39. Aeropuerto Internacional de Río Gallegos

La relación de la ciudad con la aviación comercial es de vieja data ya que era una de las escalas de la Aeroposta Argentina, la línea aérea que volaba con aviones y pilotos franceses, entre los que se encontraba el célebre autor de El Principito: Antoine de Saint-Exupéry.

Ciudad	Río Gallegos
Provincia	Santa Cruz
Nombre del aeropuerto	Piloto Civil Norberto Fernández
Concesionario	Si
Explotador	Aeropuertos Argentina 2000 S.A.
Administrador	Fabián Velázquez
Jefe del aeropuerto (ANAC)	Rubén Horacio Erbes
Superficie total	1719 hectáreas
Sup. concesionada	190 hectáreas
Sup. terminal de pasajeros	4.320 m ²
Pistas	07/25 (3.549 m x 45 m) Hormigón
Código de identificación	ANAC (GAL)

Figura 40. Características Aeropuerto Internacional de Río Gallegos. Fuente: ORSNA. 2018

AD 2.12 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTAS									
RWY	Orientación (mag)	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	Coordenadas THR	Elevación (THR)	Ondulación Geoidal (m)	SWY (m)	CWY (m)	Franjas (m)
07	074°	3549x45	ASPH 64/R/C/W/T	513636,03S 0692013,76W	61 FT 18,50 m	9		290x150	3904x300
25	254°	3549x45	ASPH 64/R/C/W/T	513627,38S 0691713,68W	51 FT 15,50 m	9	235x45	300x150	3904x300

Figura 41. Características físicas de las pistas - RGL. Fuente: AIP – ANAC

Normativa local vinculada al ruido

En el ámbito municipal de Río Gallegos, la demanda por niveles de ruido provenientes de fuentes móviles, está prevista en su Ordenanza 761/91, Capítulo IV, que en su Artículo 17 establece que el ruido total emitido por un vehículo, incluido el caño de escape, que transite o permanezca en ejido de la ciudad de Río Gallegos, no podrá exceder los valores indicados en una tabla de referencia.

No se dispone de normativa específica referente al ruido producido por las aeronaves.

5.5.2.5. Aeropuerto de Jujuy

El Aeropuerto Internacional Gobernador Horacio Guzmán (IATA: JUJ, OACI: SASJ), se encuentra a 33 km al sureste del centro de la ciudad de San Salvador de Jujuy, cerca de la ciudad de Perico en el departamento El Carmen en la provincia de Jujuy. Se encuentra emplazada cerca de las ciudades y localidades más pobladas de Jujuy, tales como San Pedro de Jujuy, Libertador General San Martín, La Mendieta y Palpalá entre otras.



Figura 42. Aeropuerto Internacional de Jujuy

La longitud de la pista es de 2950 metros y el ancho es de 45 metros. Tiene una superficie cubierta de 5000 metros cuadrados, funcionales, a dos niveles. En la plataforma se encuentran los sectores destinados a los servicios de protección del vuelo, compañías operadores, dos salas VIP, recepción y despacho de pasajeros, entrega de equipajes, de cabotaje e internacional.

En abril de 2017 comenzó a remodelarse el aeropuerto con la construcción de una nueva torre control, un nuevo estacionamiento (que tendrá el doble de capacidad) y una nueva terminal de pasajero de 8000 metros cuadrados, repartido en dos niveles con la incorporación de dos mangas para vuelos nacionales y una tercera para vuelos internacionales.

Actualmente es base operativa de medios aéreos del Plan Nacional de Manejo del Fuego.

Ciudad	San Salvador de Jujuy
Provincia	Jujuy
Nombre del aeropuerto	Gobernador Horacio Guzmán
Concesionado	Si
Explotador	Aeropuertos Argentina 2000 S.A.
Administrador	Miguel Bravo
Jefe del aeropuerto (ANAC)	José Luis Subirats
Superficie total	730 hectáreas
Sup. concesionada	730 hectáreas
Sup. terminal de pasajeros	4.000 m ²
Pistas	16/34 (2.956 m x 45 m) Asfalto
Código de identificación	ANAC (JUJ)

Figura 43. Características Aeropuerto Internacional de Jujuy. Fuente: ORSNA. 2018

AD 2.12 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PISTAS								
RWY	Orientación (mag)	Dimensiones (m)	Resistencia (PCN)	Coordenadas THR	Elevación (THR)	SWY (m)	CWY (m)	Franjas
16	157°	2944x40	ASPH, 50/F/B/W/U	242252,41S 0650618,16W	3019 FT 920 m		900x150	3076x300
34	337°	2944x40	ASPH, 50/F/B/W/U	242415,41S 0650526,17W	2903 FT 885 m			

Figura 44. Características físicas de las pistas - JUJ. Fuente: AIP – ANAC

Normativa local vinculada al ruido

Se tiene presente que existe una normativa referida a ruidos molestos en la ciudad, la cual no pudo ser consultada debido a que no se cuenta con una versión digitalizada de la misma.

5.5.3. Tablas y gráficos comparativos de los aeropuertos bajo análisis

A continuación, se presenta una tabla comparativa sobre las características de los aeropuertos bajo estudio:

Aeropuerto	Código IATA/OACI	Pasajeros Año	Mov. De Carga [tons]	Operaciones Año
Aeropuerto Internacional de Mendoza	IATA: MDZ / OACI: SAME	1.717.410	1.635	17.649
Aeropuerto Internacional de Salta	IATA: SLA / OACI: SASA	1.095.104	1.356	12.478
Aeropuerto Internacional de Mar del Plata	IATA: MDQ / OACI: SAZM	285.289	170	5.943
Aeropuerto Internacional de Jujuy	IATA: JUJ / OACI: SASJ	264.819	114	3.905
Aeropuerto Internacional de Río Gallegos	IATA: RGL / OACI: SAWG	255.982	514	3.661

Tabla 3. Características de los aeropuertos bajo estudio. Escenario 2017. Fuente: ORSNA



Figura 45. Gráfico - Cantidad de pasajeros por año. Fuente: Elaboración propia



Figura 46. Gráfico - Cantidad de operaciones por año. Fuente: Elaboración propia

5.6. Mezcla de tráfico

La flota utilizada para el presente análisis fue obtenida a partir de información proveniente del Grupo de Transporte Aéreo (GTA).

En orden de establecer el escenario operativo más desfavorable, de los datos correspondientes al año 2017, se identificó el día con mayor número de operaciones en cada aeropuerto, a través del método ADPM definido por la FAA.

Este representa el método más común para convertir las estadísticas de planificación en una línea de base diaria. Primeramente, se procede a identificar el mes con mayor número de operaciones en el año bajo estudio, denominado Mes Pico. Luego, el Día Pico, será el que presente un mayor número de operaciones dentro del Mes Pico.

Aeropuerto analizado	Día pico	Arribos	Partidas
Aeropuerto de Mendoza	04/08/2017	30	29
Aeropuerto de Salta	19/09/2017	19	19
Aeropuerto de Mar del Plata	28/12/2017	15	15
Aeropuerto de Jujuy	05/07/2017	8	7
Aeropuerto de Río Gallegos	21/01/2017	7	8

Tabla 4. Movimientos de aeronaves en el día pico

En función de ello se determinó el perfil diario de operaciones tanto de arribos como partidas para cada aeropuerto bajo análisis.

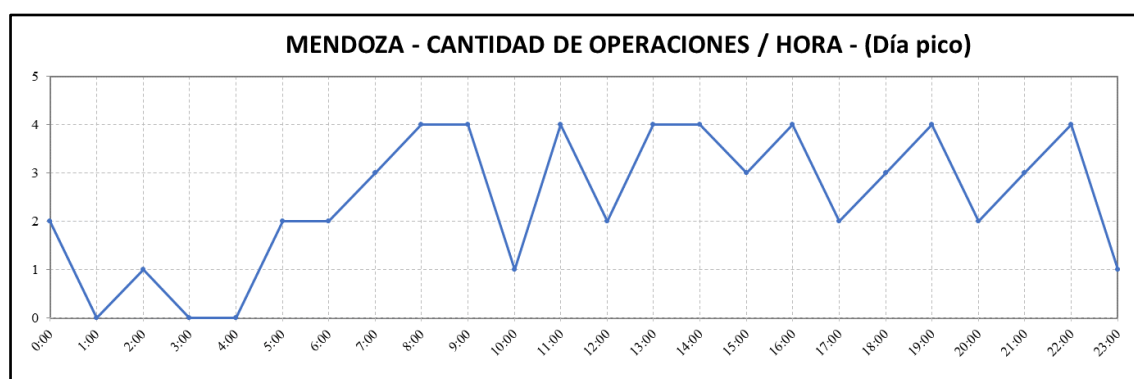


Figura 47. Perfil diario de operaciones en el Aeropuerto de Mendoza

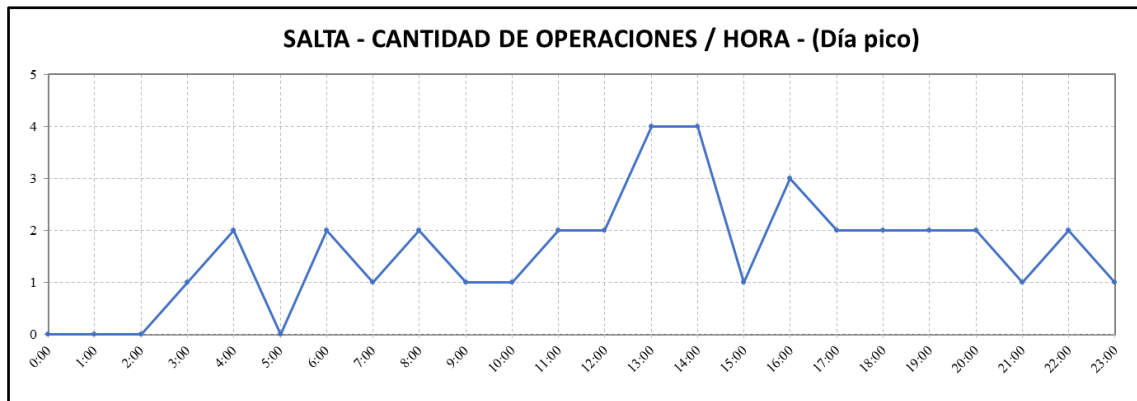


Figura 48. Perfil diario de operaciones en el Aeropuerto de Salta

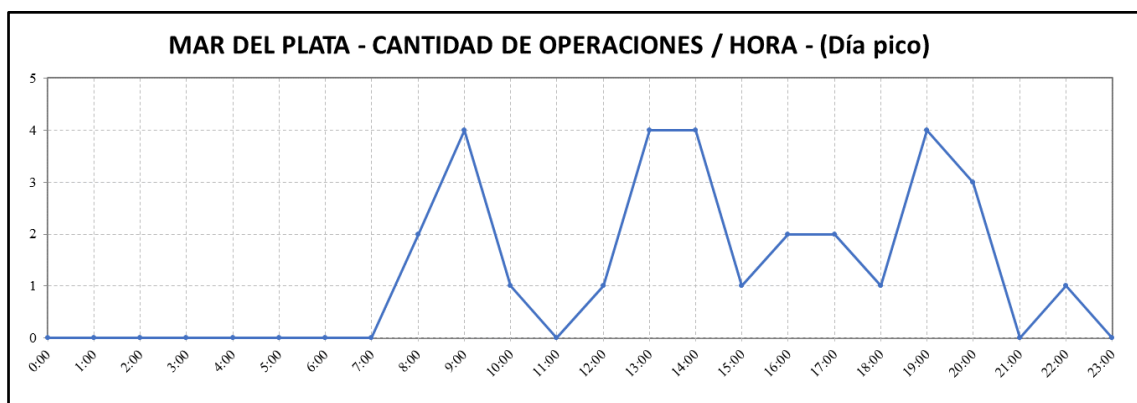


Figura 49. Perfil diario de operaciones en el Aeropuerto de Mar del Plata

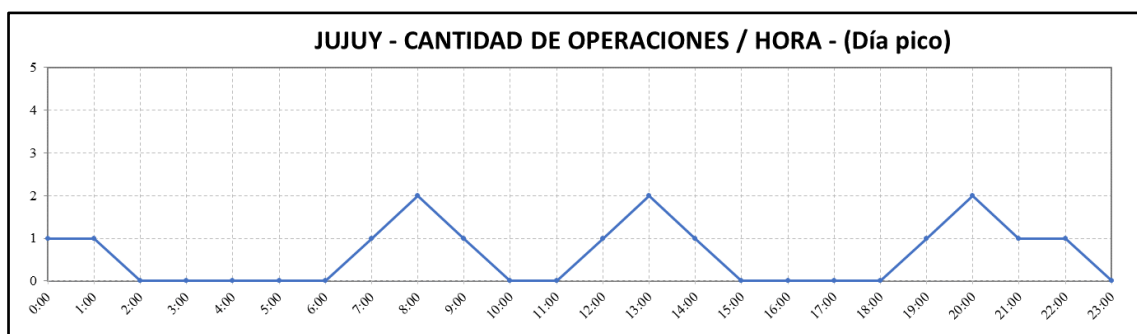


Figura 50. Perfil diario de operaciones en el Aeropuerto de Jujuy



Figura 51. Perfil diario de operaciones en el Aeropuerto de Río Gallegos

En la siguiente tabla se resumen los principales fabricantes de aeronaves que operan en cada uno de los aeropuertos:

Aeropuerto analizado	Fabricante de aeronaves			
	Airbus	Boeing	Embraer	Otros
Aeropuerto de Mendoza	11	6	9	3
Aeropuerto de Salta	5	9	0	5
Aeropuerto de Mar del Plata	0	2	16	12
Aeropuerto de Jujuy	0	0	10	5
Aeropuerto de Río Gallegos	4	6	2	3

Tabla 5. Cantidad de operaciones por fabricante – Día pico

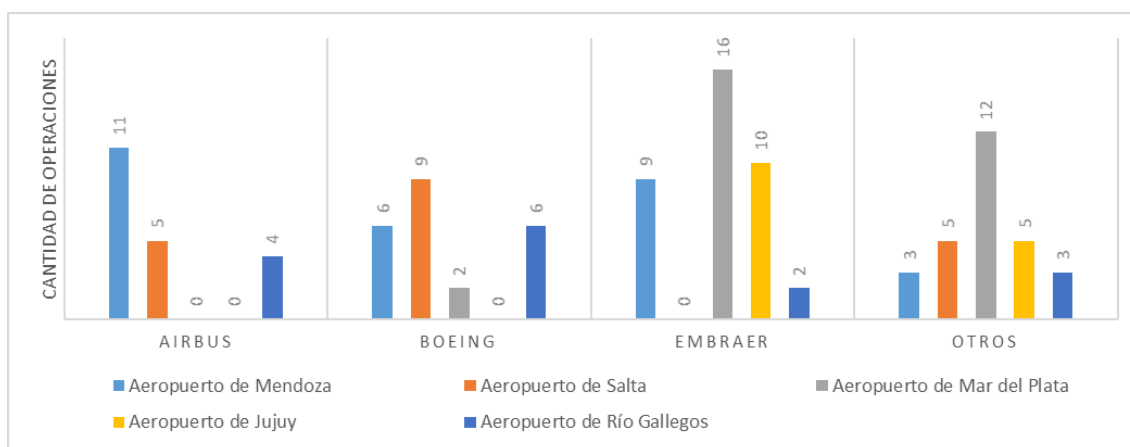


Figura 52. Cantidad de operaciones por fabricante en el día analizado

5.7. Condición de máximo desarrollo aeroportuario

Con el objetivo de caracterizar la población alcanzada en el escenario más crítico posible en cada aeropuerto, los escenarios operacionales simulados se definieron bajo la condición de máximo desarrollo aeroportuario, en donde la totalidad de las operaciones de arribo y despegue se realizan por cada pista operativa.

Para definir esta condición, se parte de analizar la demanda de transporte aéreo de cada aeropuerto bajo estudio; entendiéndose ésta como el parámetro fundamental para la planificación aeroportuaria que determina las necesidades de instalaciones en un período de tiempo. De su análisis se deducirán las operaciones de aeronaves y su distribución anual, diaria y horaria. Esta demanda se encuentra contemplada en el Plan Maestro de cada aeropuerto.

Consultando la información disponible en los Planes Maestros realizados por el Grupo de Transporte Aéreo (GTA), se estableció un porcentaje de crecimiento

de las operaciones aéreas, desde su condición inicial al momento de realizarse dicho plan hasta su condición de máximo desarrollo.

Posteriormente, se afectó el perfil de operaciones correspondiente al día pico de cada aeropuerto en el año 2017 con el porcentaje de crecimiento antes mencionado, logrando de esa manera actualizar la cantidad de operaciones que deberá procesar el aeropuerto en su día pico cuando alcance su condición de máximo desarrollo.

Esto permite establecer el escenario operativo más desfavorable en términos de ruido aeronáutico, de gran utilidad para definir medidas de mitigación las cuales contribuyan a prevenir la afectación acústica que tendrá el crecimiento de la actividad aérea sobre la población circundante de cada aeropuerto y a establecer una correcta política de usos de suelos.

A continuación, se observa la diferencia entre el perfil diario de operaciones actual (2017) y el correspondiente a la condición de máximo desarrollo para cada aeropuerto bajo análisis:

Aeropuerto	Incremento porcentual estimado	Cantidad de operaciones diarias	
		Situación actual (2017)	Máximo desarrollo
Aeropuerto de Mendoza	740%	59	505
Aeropuerto de Salta	600%	38	266
Aeropuerto de Mar del Plata	748%	30	258
Aeropuerto de Jujuy	365%	15	75
Aeropuerto de Río Gallegos	733%	15	132

Tabla 6. Cantidad de operaciones diarias Situación actual (2017) – Máximo desarrollo

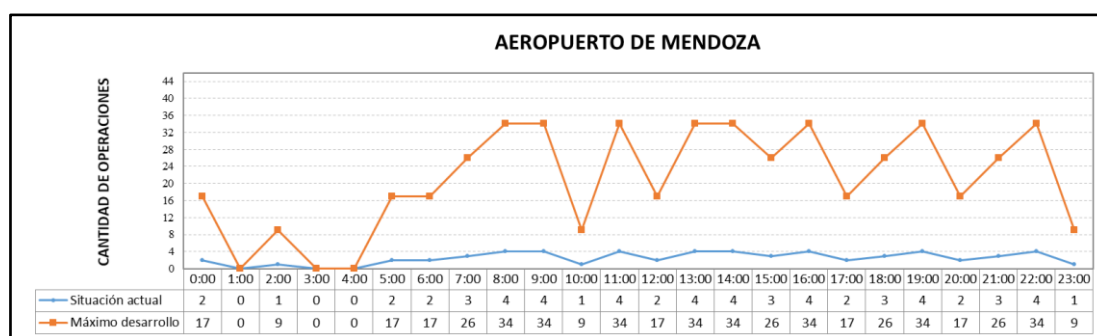


Figura 53. Comparación perfil diario de operaciones. Aeropuerto Internacional de Mendoza

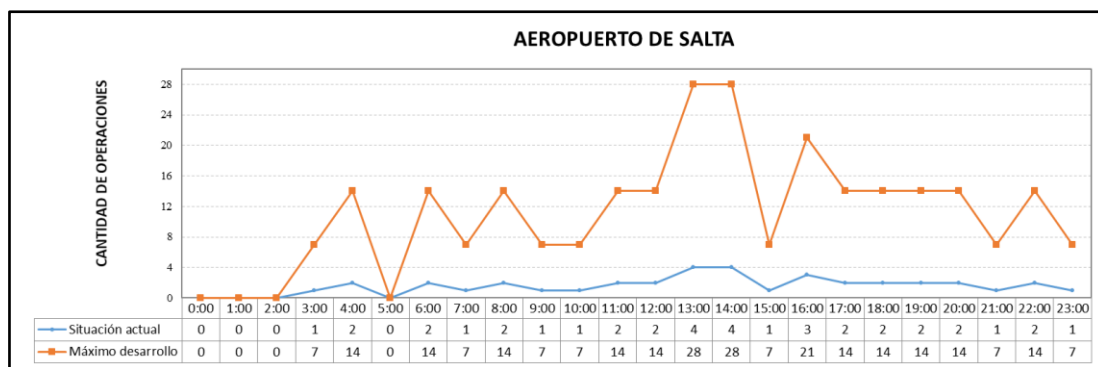


Figura 54. Comparación perfil diario de operaciones. Aeropuerto Internacional de Salta

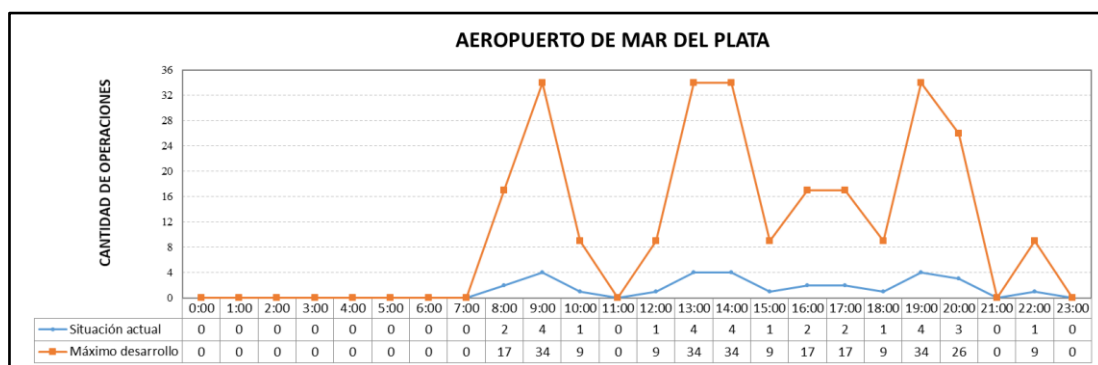


Figura 55. Comparación perfil diario de operaciones. Aeropuerto Internacional de Mar del Plata

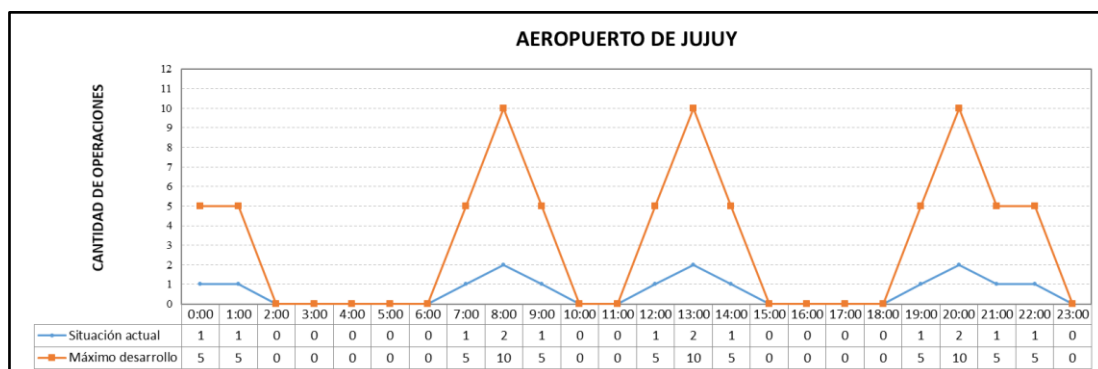


Figura 56. Comparación perfil diario de operaciones. Aeropuerto Internacional de Jujuy

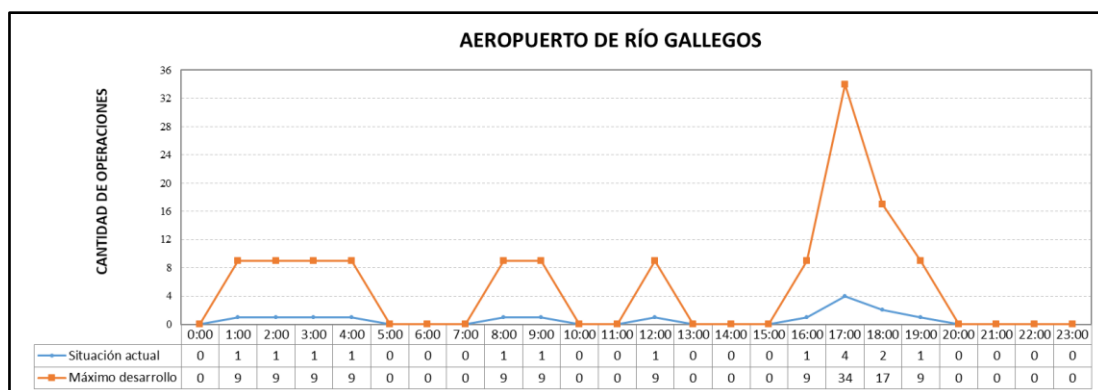


Figura 57. Comparación perfil diario de operaciones. Aeropuerto Internacional de Río Gallegos

Se muestra a continuación un resumen con los movimientos del día pico correspondiente a cada aeropuerto en su condición de máximo desarrollo (no se muestra el tipo de operación y horario, aunque se tuvieron en cuenta para el análisis):

Aeropuerto Internacional de Mendoza	
Aeronave	Operaciones
Airbus A319	18
Airbus A320	144
Airbus A321	26
Airbus A340-300	18
Boeing 737-300	34
Boeing 738-800	68
Embraer 190	154
McDonnell Douglas MD81	43
TOTAL	505

Tabla 7. Operaciones por tipo de aeronave – MDZ

Aeropuerto Internacional de Salta	
Aeronave	Operaciones
Airbus A320	70
Boeing 737-300	14
Boeing 737-700	28
Boeing 738-800	84
CRJ 200	28
McDonnell Douglas MD83	42
TOTAL	266

Tabla 8. Operaciones por tipo de aeronave – SLA

Aeropuerto Internacional de Mar del Plata	
Aeronave	Operaciones
ATR 72	68
Boeing 738-800	18
Embraer 190	136
McDonnell Douglas MD81	18
McDonnell Douglas MD83	18
TOTAL	258

Tabla 9. Operaciones por tipo de aeronave - MDQ

Aeropuerto Internacional de Jujuy	
Aeronave	Operaciones
Embraer 190	50
McDonnell Douglas MD83	25
TOTAL	75

Tabla 10. Operaciones por tipo de aeronave – JUJ

Aeropuerto Internacional de Río Gallegos	
Aeronave	Operaciones
Airbus A320	46
Boeing 737-700	32
Boeing 738-800	17
Embraer 190	15
Saab SF340	22
TOTAL	132

Tabla 11. Operaciones por tipo de aeronave - RGL

6. Resultados

6.1. Obtención y análisis de los mapas estratégicos de ruido para cada aeropuerto en función de distintas condiciones operativas

A los efectos de cumplir con los objetivos del presente trabajo final, a continuación, se detallan los análisis realizados para los distintos aeropuertos seleccionados, presentando los mapas estratégicos de ruido obtenidos para cada distintos escenarios operacionales y condiciones operativas.

6.1.1. Análisis con métrica DNL

Como se mencionó anteriormente, la métrica DNL fue desarrollada por la FAA para determinar la exposición acumulada al ruido en el entorno aeroportuario (AC 150/5020-1) y, en función de ello, poder predecir los efectos en la población de la exposición al ruido a largo plazo. Tiene en cuenta la duración y magnitud del mismo, integrado durante un período de 24 horas. Se divide este en 2 etapas: día, de 07:00 a 22:00 hs y noche, de 22:00 a 07:00 hs. Se le agrega a esta última una corrección al valor obtenido de 10 dB para contemplar la incomodidad adicional que implica en la población.

A continuación, se presentan las variables las cuales fueron analizadas para obtener las diferentes huellas de ruido:

- 1- Tipo de procedimiento de despegue
- 2- Tipo de operaciones (diurnas y nocturnas)
- 3- Trayectoria de ruta de despegue

6.1.1.1. En función del tipo de procedimiento de despegue

El software AEDT (Aviation Environmental Design Tool) contempla tres distintos procedimientos de despegue: estándar, OACI A y OACI B. Las diferencias entre ellos radican en la configuración de la potencia, flaps/slats, velocidades y tasa de ascenso.

Se realizaron en total 6 simulaciones por aeropuerto, una por cada procedimiento antes mencionado, para cada una de las pistas. A los términos del presente informe, se observan a continuación los mapas estratégicos de ruido obtenidos para el escenario operacional utilizando la pista que presenta la situación más crítica en términos de afectación acústica.

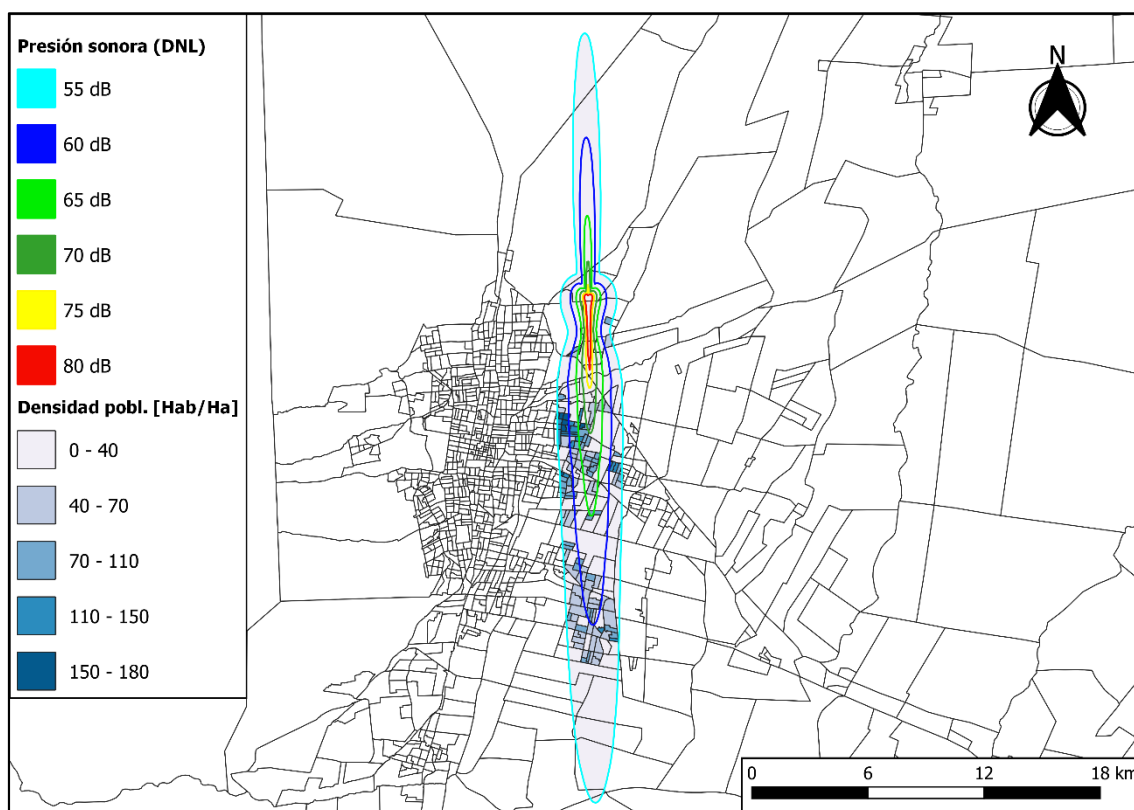
➤ Aeropuerto de Mendoza

En este caso, la senda de despegue (Take off path) correspondiente a la Pista 18 presenta una dirección Norte-Sur la cual atraviesa un área densamente poblada de la ciudad.

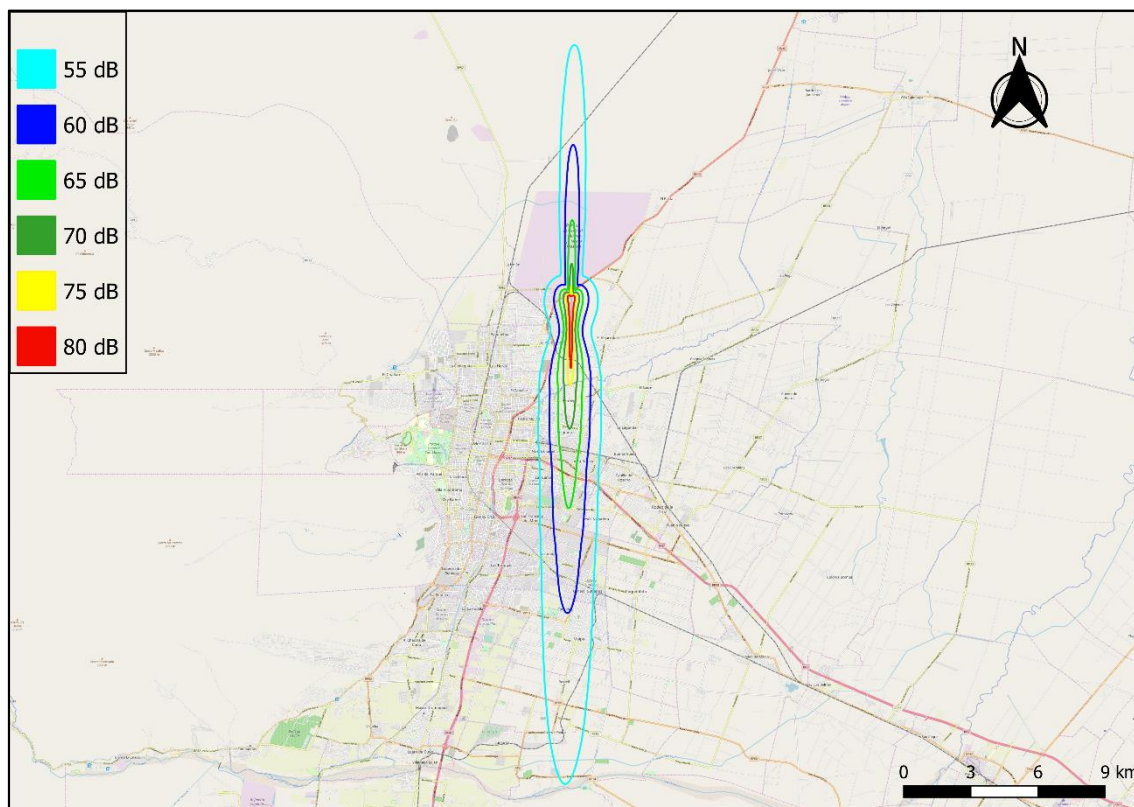
Es importante destacar el crecimiento urbano en estos últimos 10; como se observa en la Figura 58, el número de viviendas en el entorno del aeropuerto se incrementó, a la vez que se observa el surgimiento de nuevos loteos. Si dicho crecimiento continúa, es de esperarse que la población afectada aumente en un futuro.



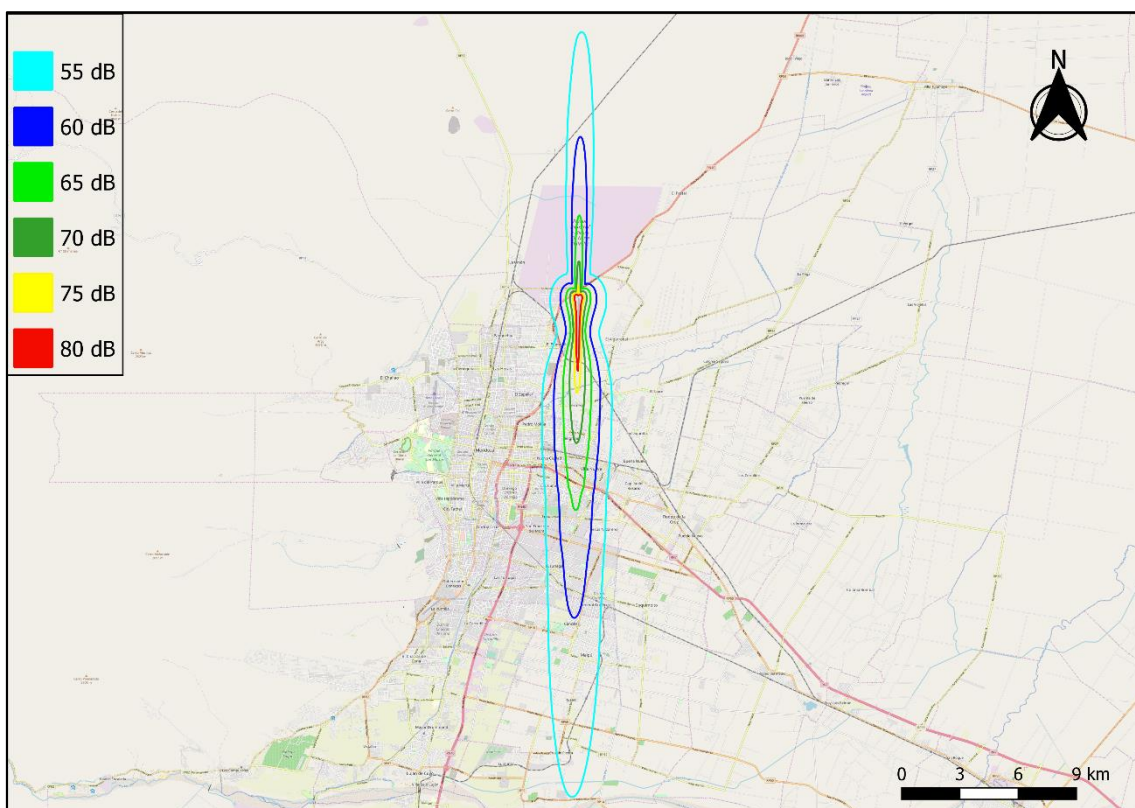
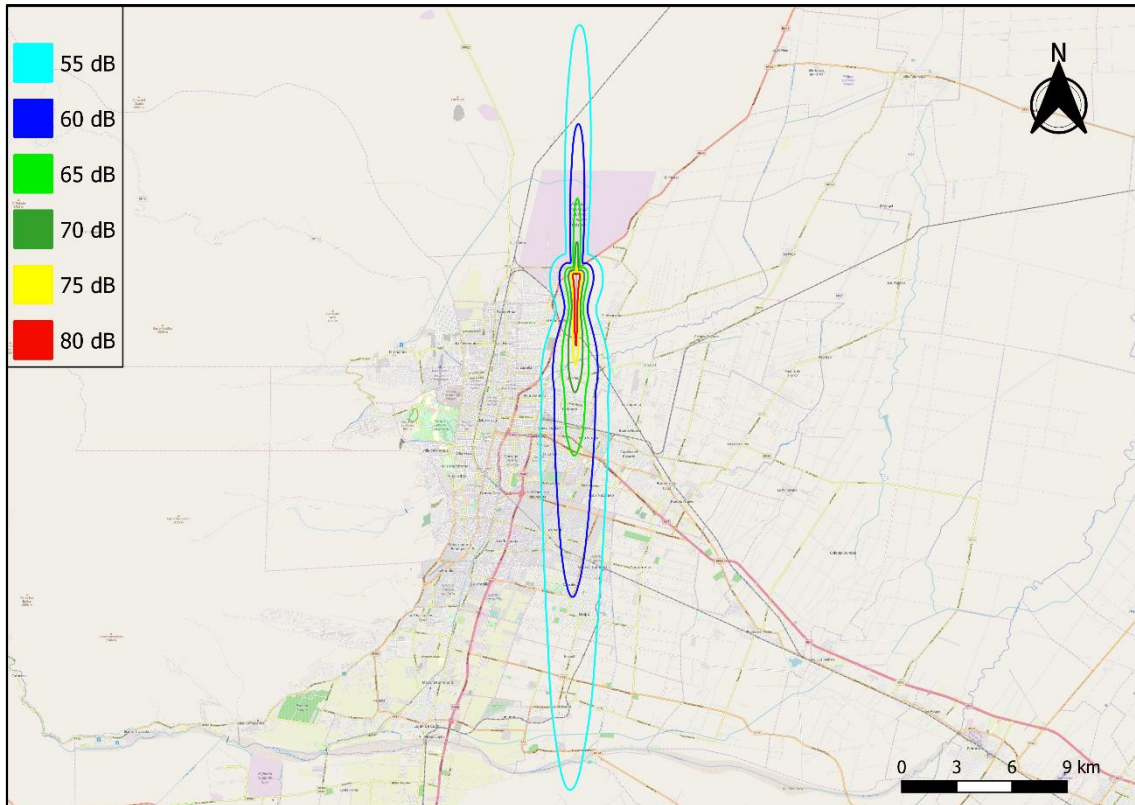
Figura 58. Crecimiento del entorno aeroportuario - MDZ. Izq: Escenario 2009. Der: Escenario 2019



Mapa 1. Población afectada. Pista 18. Aterrizaje y despegue Standard- MDZ



Mapa 2. Aeropuerto de Mendoza. Pista 18. Aterrizaje y despegue Standard

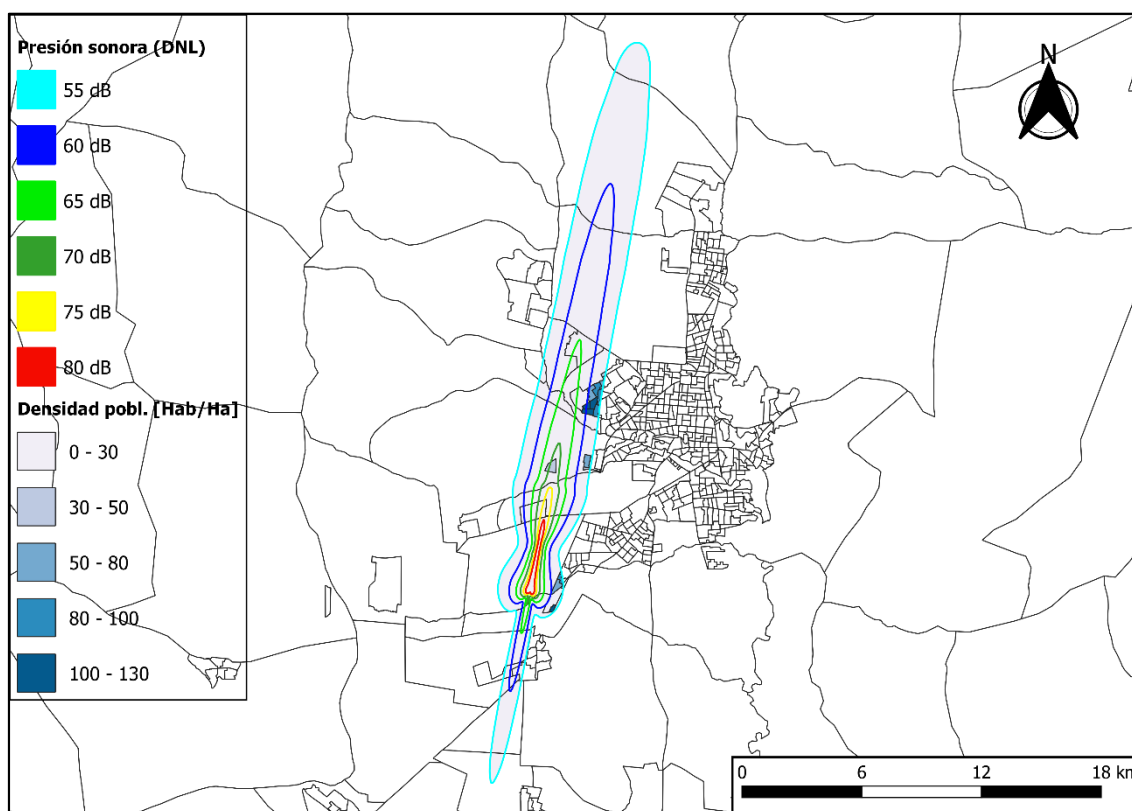


➤ Aeropuerto de Salta

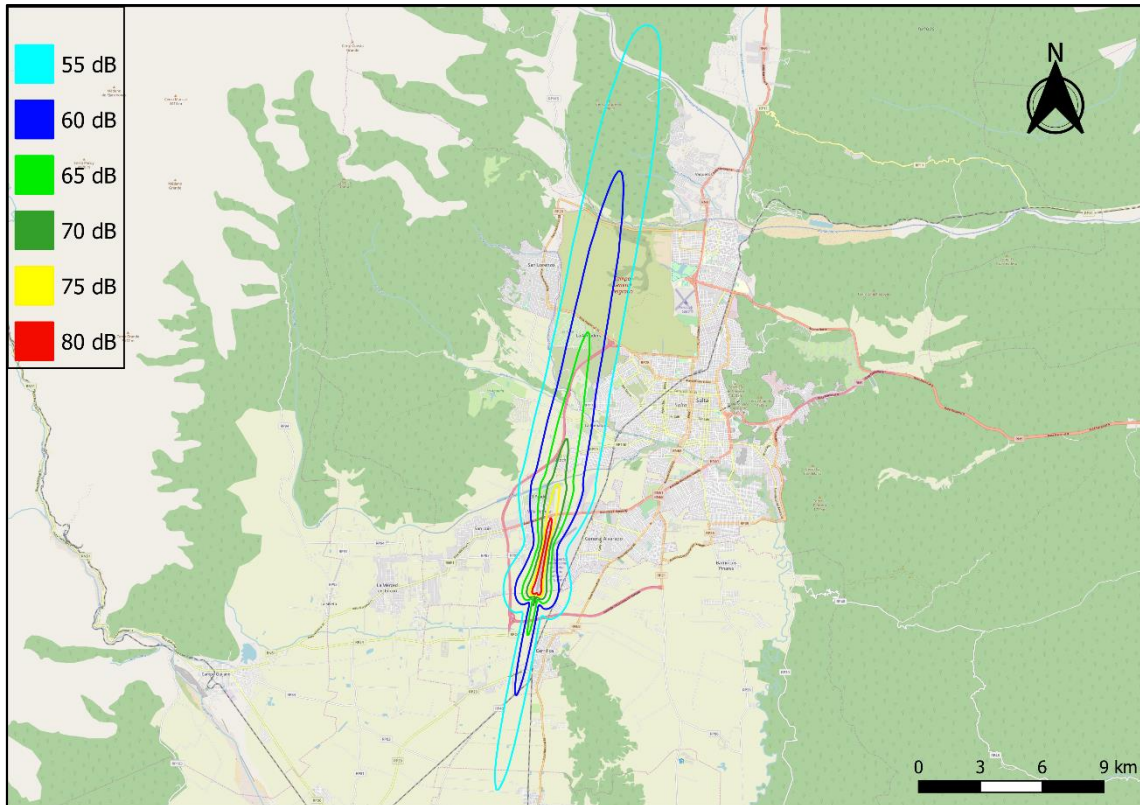
En un caso similar al de la ciudad de Mendoza, el Aeropuerto de Salta presenta importantes desarrollos inmobiliarios en crecimiento emplazados al norte de su posición. Esto indica que la pista más crítica en terminos de afectación acústica será la número 20.



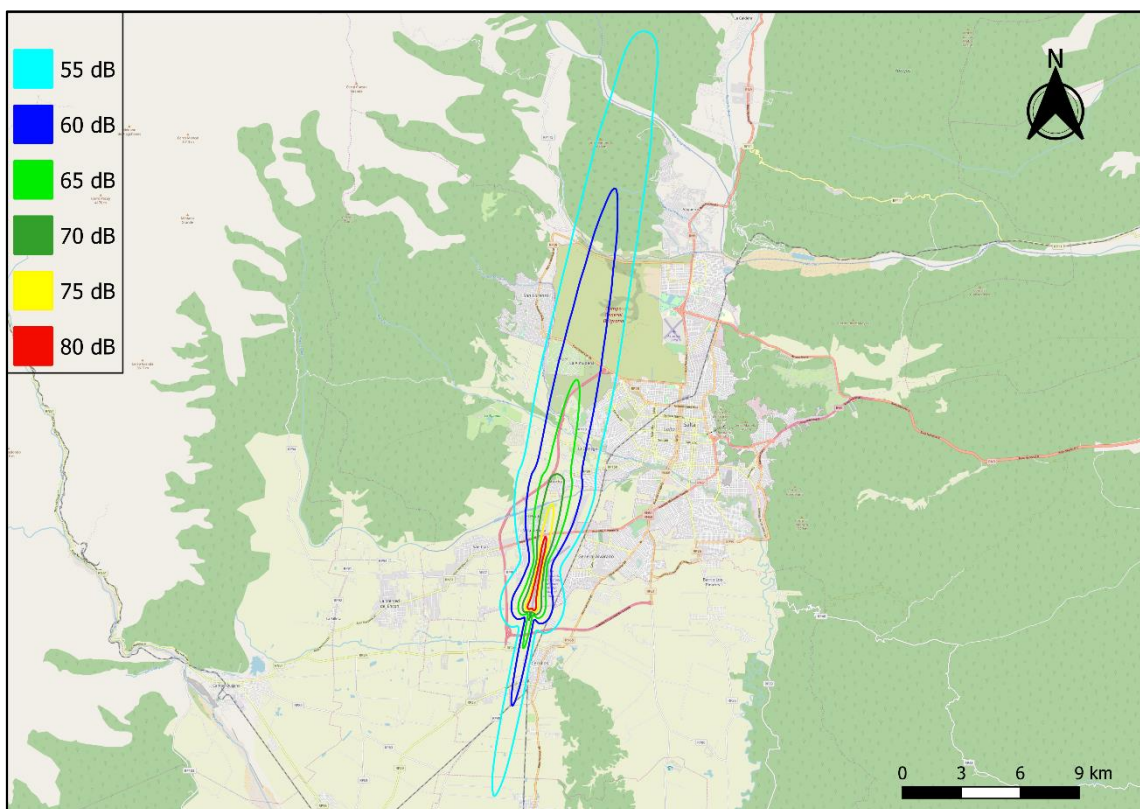
Figura 59. Crecimiento del entorno aeroportuario - SLA. Izq: Escenario 2008. Der: Escenario 2018



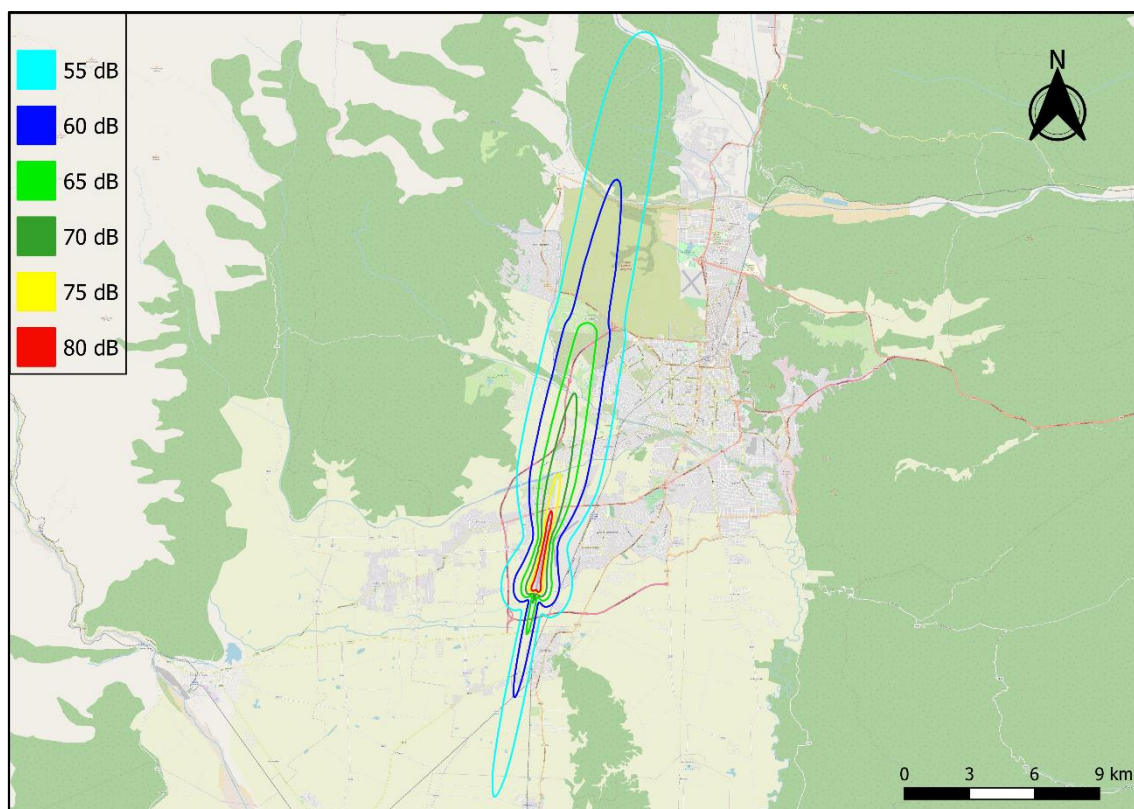
Mapa 5. Población afectada. Pista 02. Aterrizaje y despegue Standard – SLA



Mapa 6. Aeropuerto de Salta. Pista 02. Aterrizaje y despegue Standard



Mapa 7. Aeropuerto de Salta. Pista 02. Aterrizaje Standard y despegue OACI-A



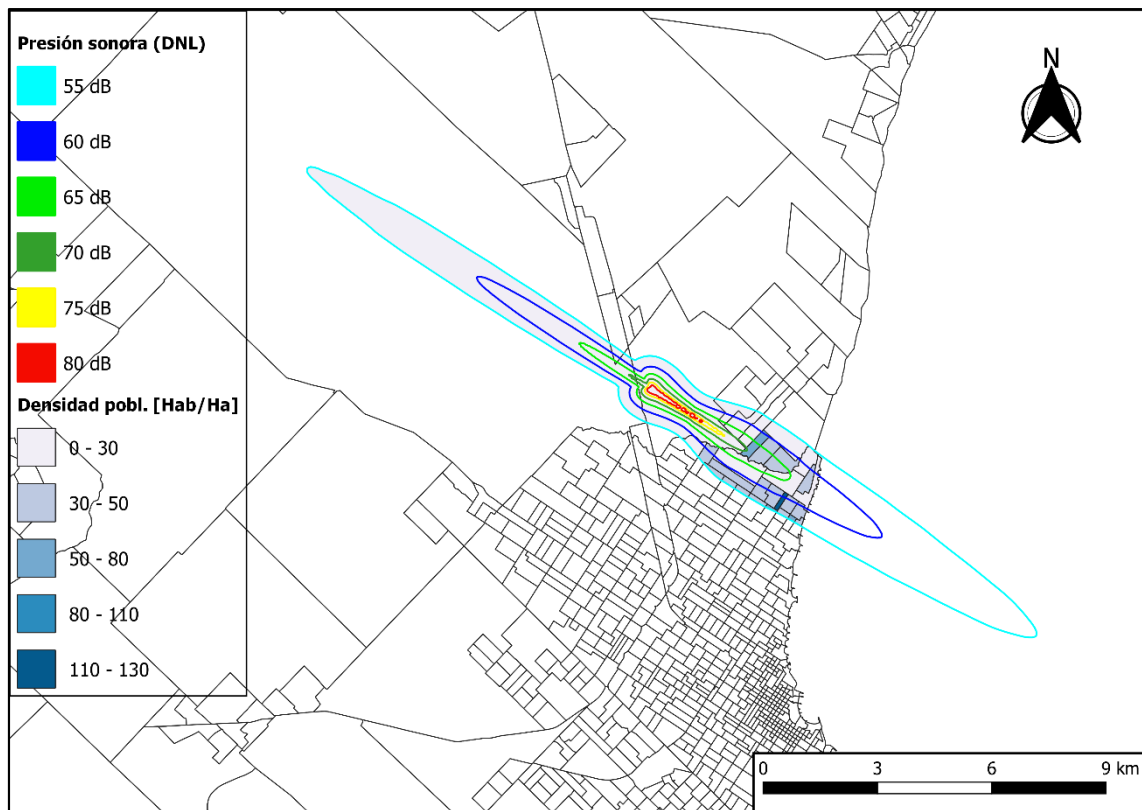
Mapa 8. Aeropuerto de Salta. Pista 02. Aterrizaje Standard y despegue OACI-B

➤ Aeropuerto de Mar del Plata

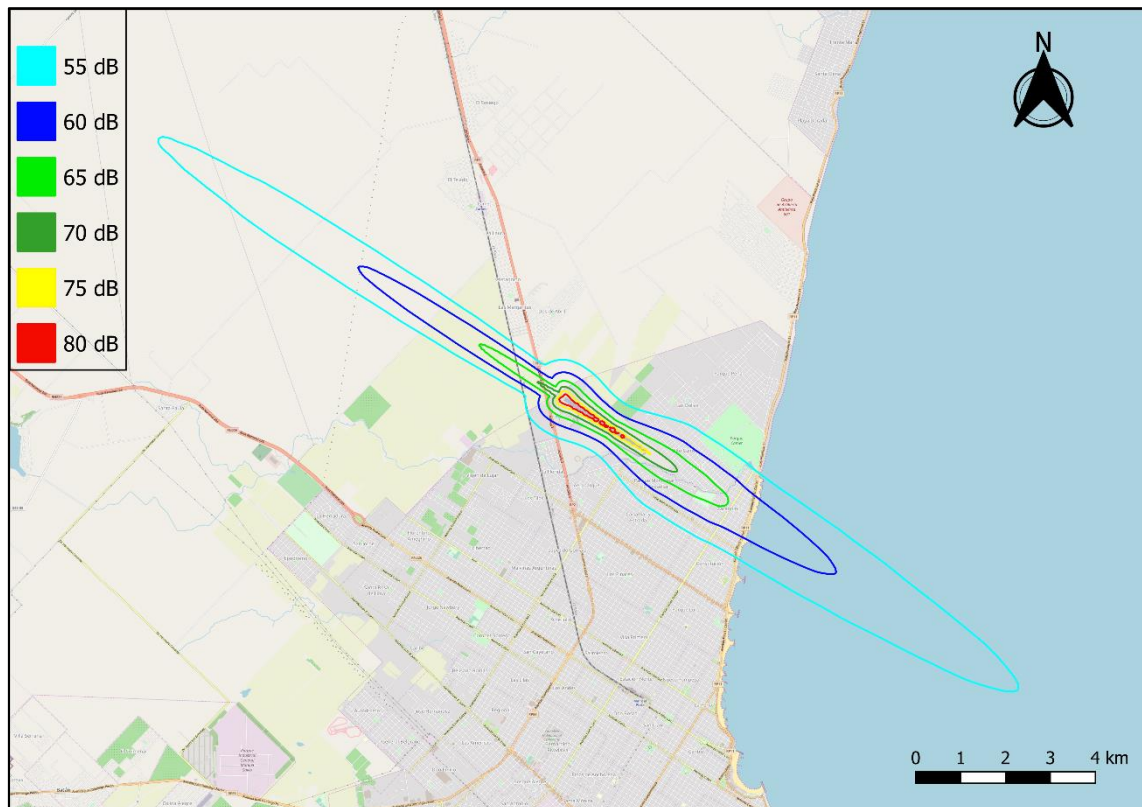
La orientación de la pista del aeropuerto de Mar del Plata y su cercanía al centro de la ciudad lo posicionan en una situación conflictiva en términos de afectación acústica. La pista número 31 no presenta mayores inconvenientes, actuales o futuros, al estar su senda de despegue orientada hacia una zona rural. No es el caso de la pista número 13, cuya orientación afecta los barrios ubicados en la zona Nor-Oeste de la ciudad. Un aspecto favorable de este aeropuerto es su cercanía a la costa, lo que permite evitar que un mayor número de personas se vean afectadas por el ruido de las aeronaves.



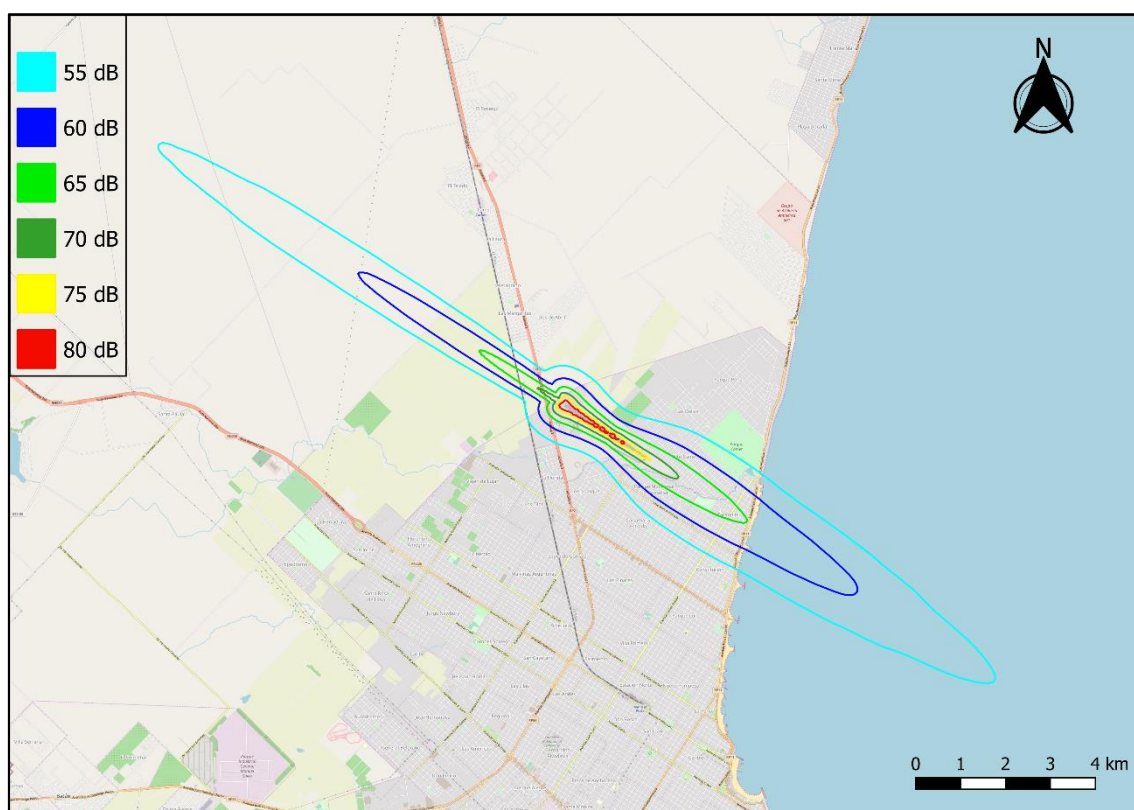
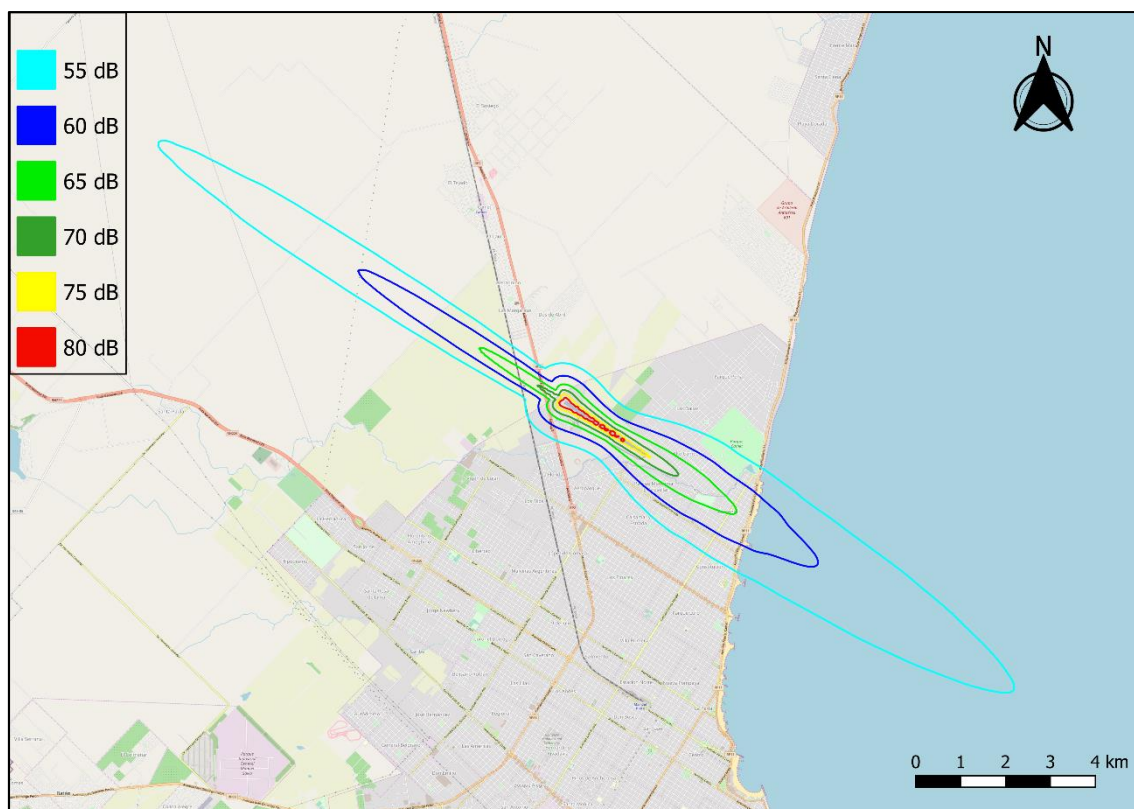
Figura 60. Crecimiento del entorno aeroportuario - MDQ. Izq: Escenario 2008. Der: Escenario 2018



Mapa 9. Población afectada. Pista 13. Aterrizaje y despegue Standard – MDQ



Mapa 10. Aeropuerto de Mar del Plata. Pista 13. Aterrizaje y despegue Standard

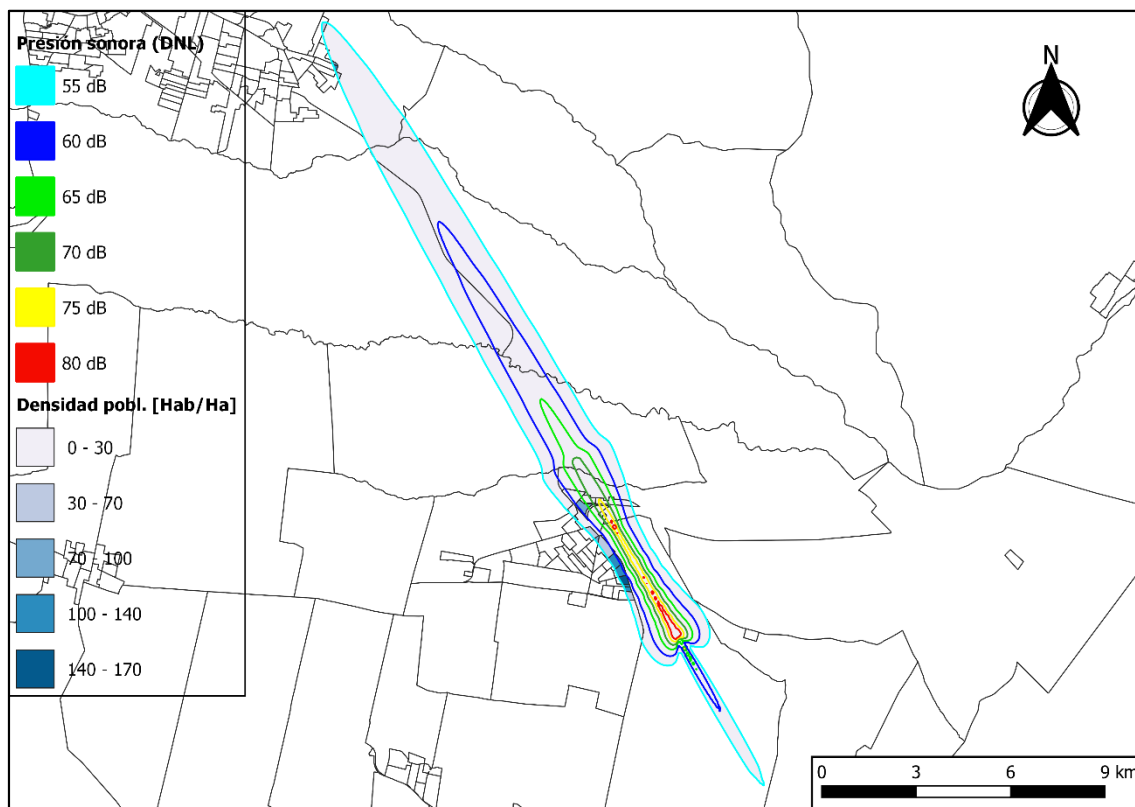


➤ Aeropuerto de Jujuy

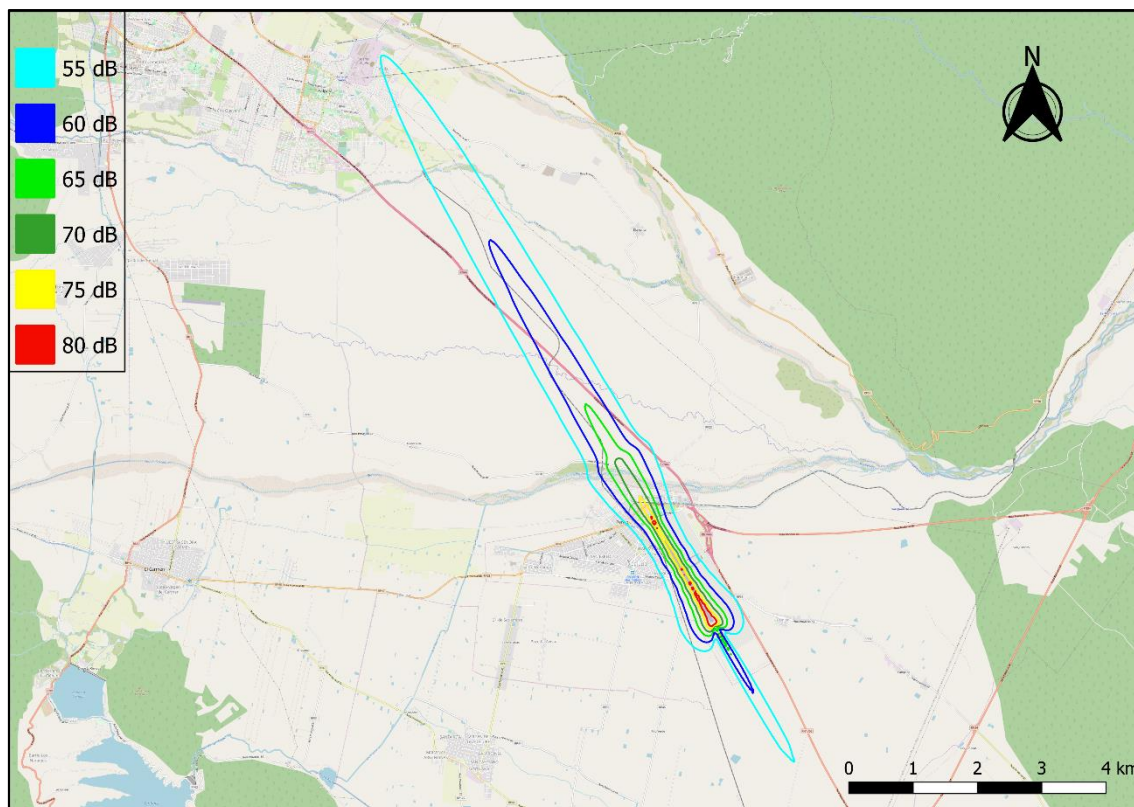
Se encuentra localizado geográficamente en el municipio de Perico. La zona norte de la ciudad se constituye como la de mayor conflicto en relación al ruido proveniente de las aeronaves, ya que se encuentra justo por debajo de la senda de despegue correspondiente a la pista 34. Si bien el número de personas alcanzadas por niveles sonoros mayores a 65 dB es considerablemente menor al de los aeropuertos antes mencionados, se espera que para el año 2025 el crecimiento poblacional sea de aproximadamente del 21% [45].



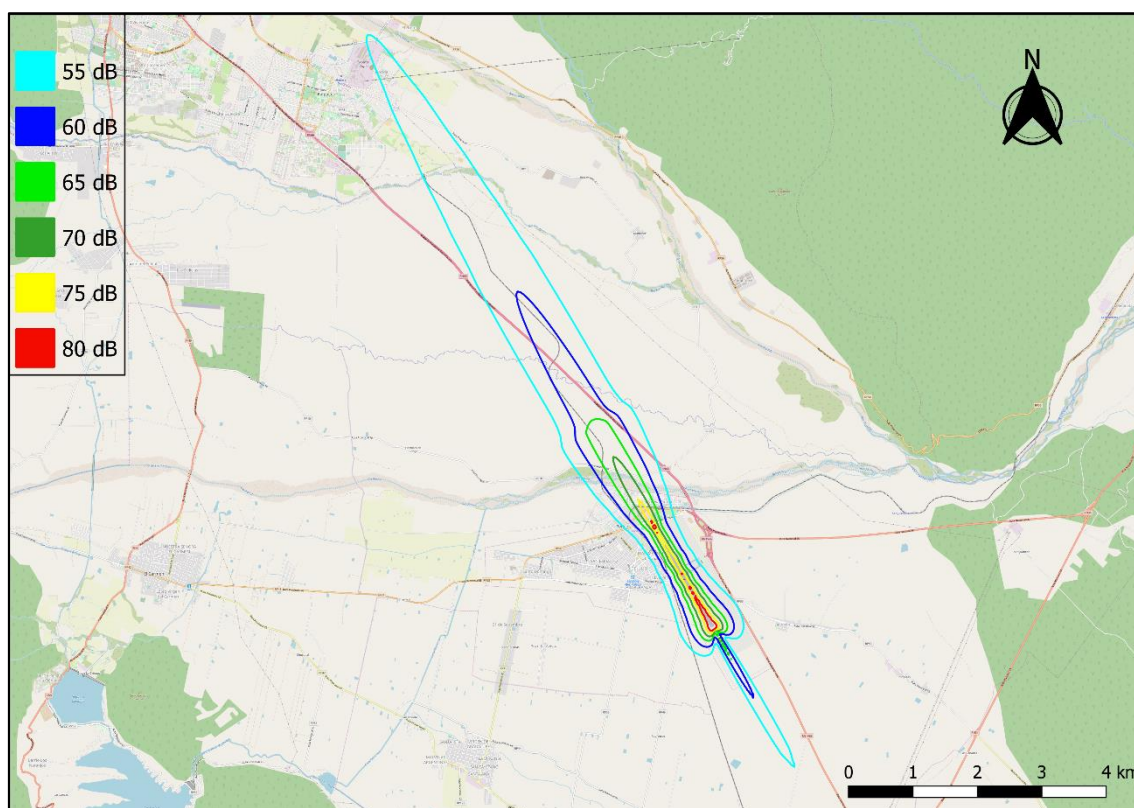
Figura 61. Crecimiento del entorno aeroportuario - JUJ. Izq: Escenario 2008. Der: Escenario 2018



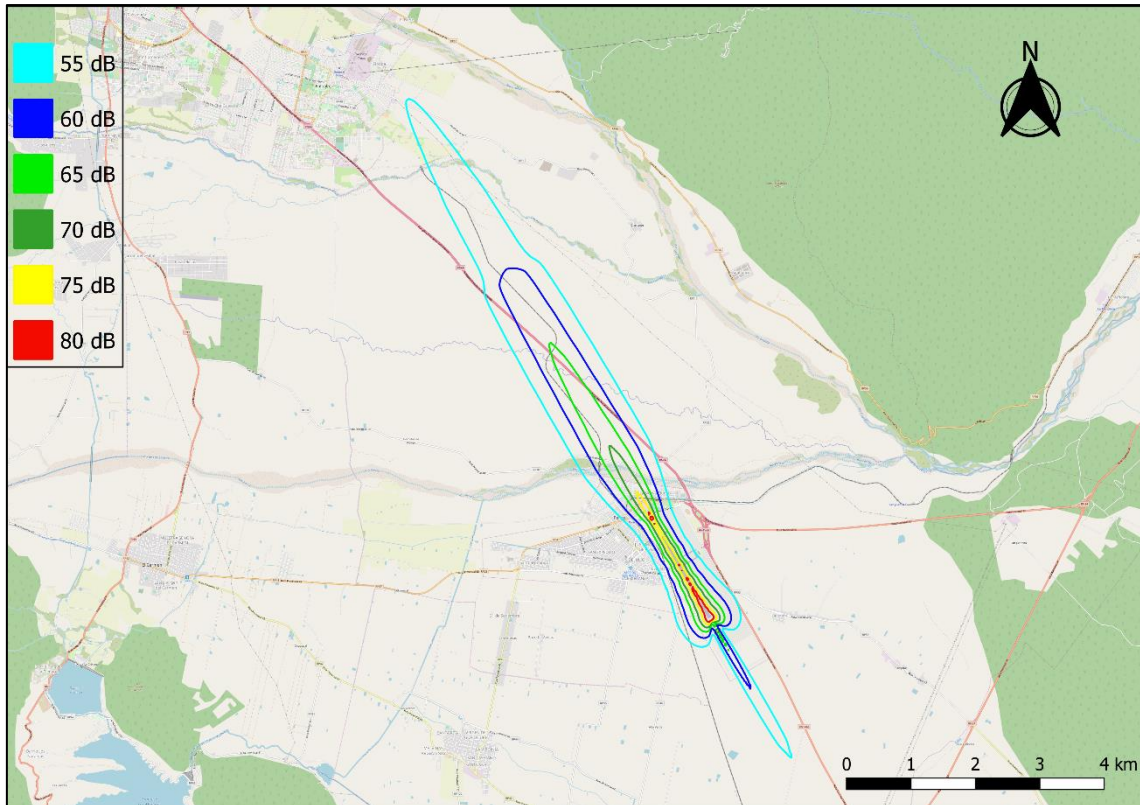
Mapa 13. Población afectada. Pista 34. Aterrizaje y despegue Standard – JUJ



Mapa 14. Aeropuerto de Jujuy. Pista 34. Aterrizaje y despegue Standard



Mapa 15. Aeropuerto de Jujuy. Pista 34. Aterrizaje Standard y despegue OACI-A



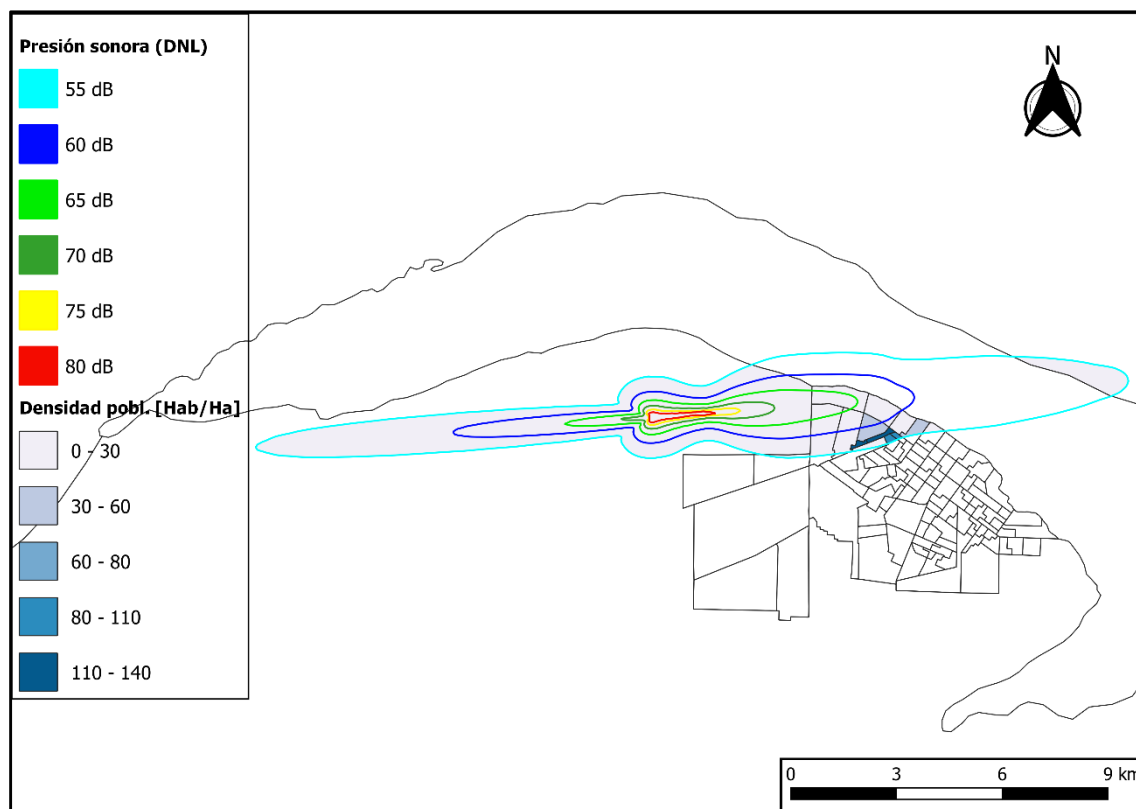
Mapa 16. Aeropuerto de Jujuy. Pista 34. Aterrizaje Standard y despegue OACI-B

➤ Aeropuerto de Río Gallegos

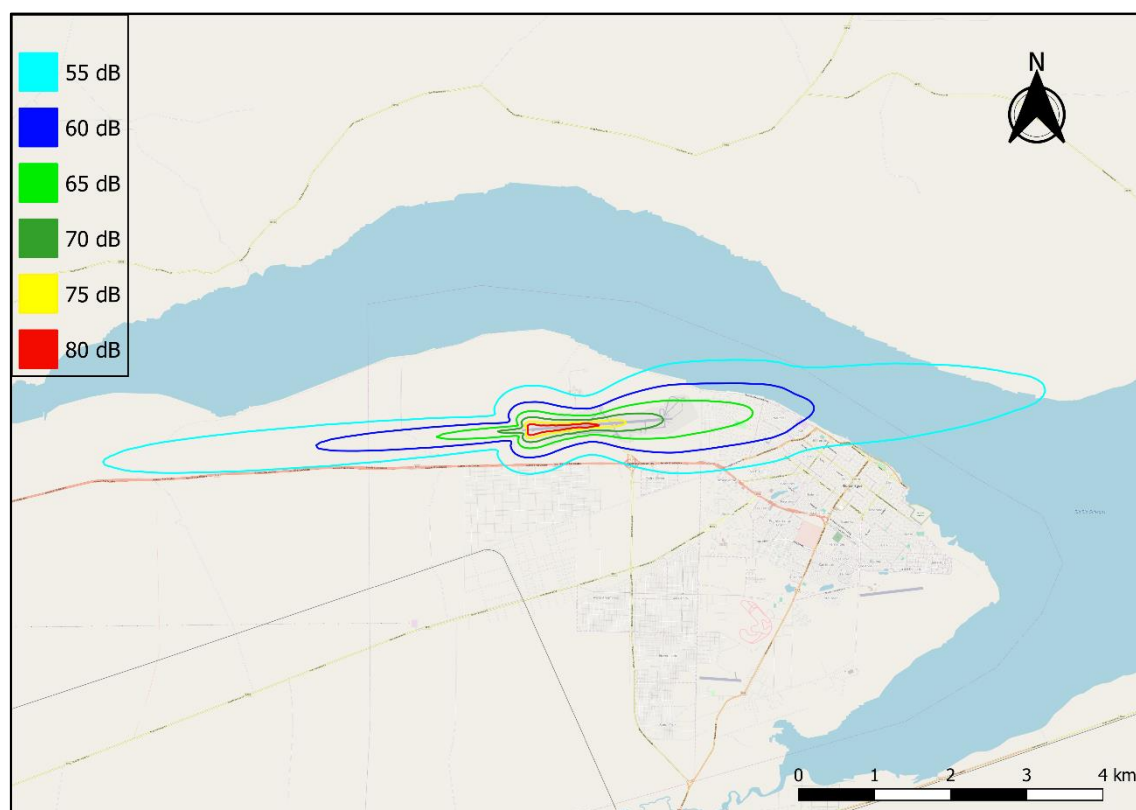
Las operaciones de aeronaves correspondientes a la pista 07 afectan acústicamente a los barrios ubicados en el sector norte de la ciudad. Si bien actualmente el número de personas afectadas es reducido, se observa un desarrollo urbanístico el cual tiende a rodear al aeropuerto, por lo que es de esperarse que la cantidad de personas afectadas aumente considerablemente.



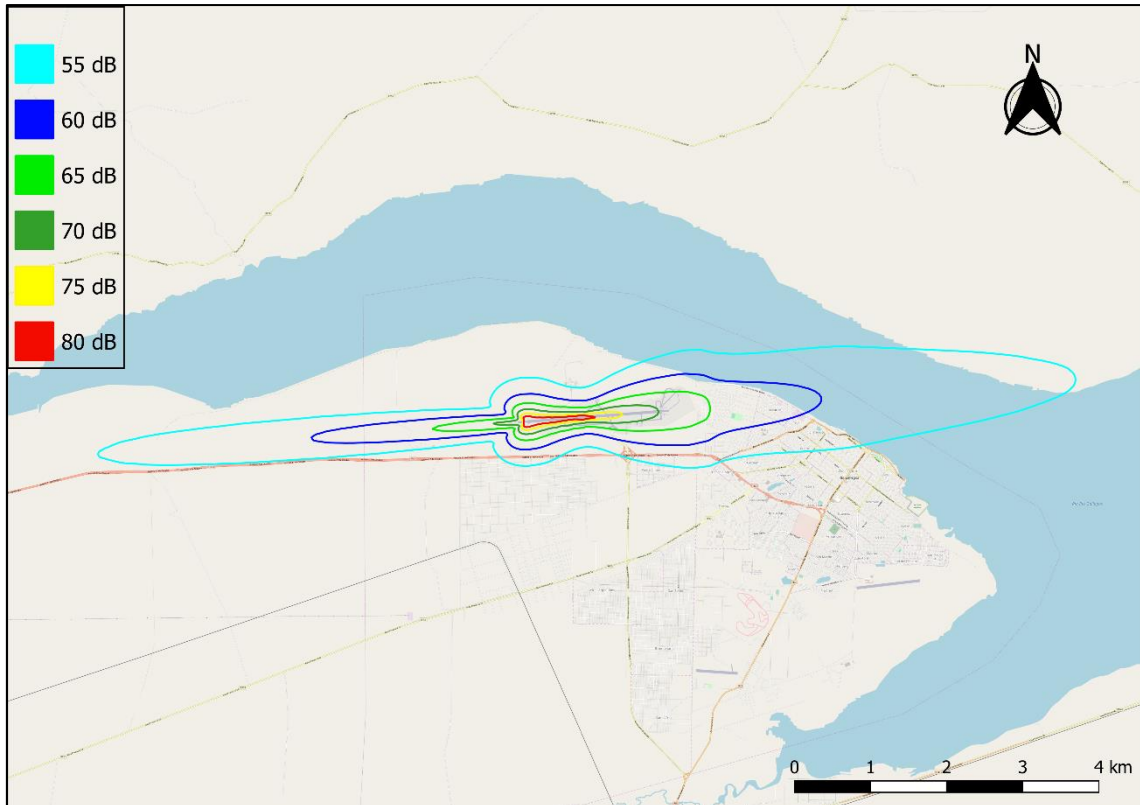
Figura 62. Crecimiento del entorno aeroportuario - RGL. Izq: Escenario 2003. Der: Escenario 2018



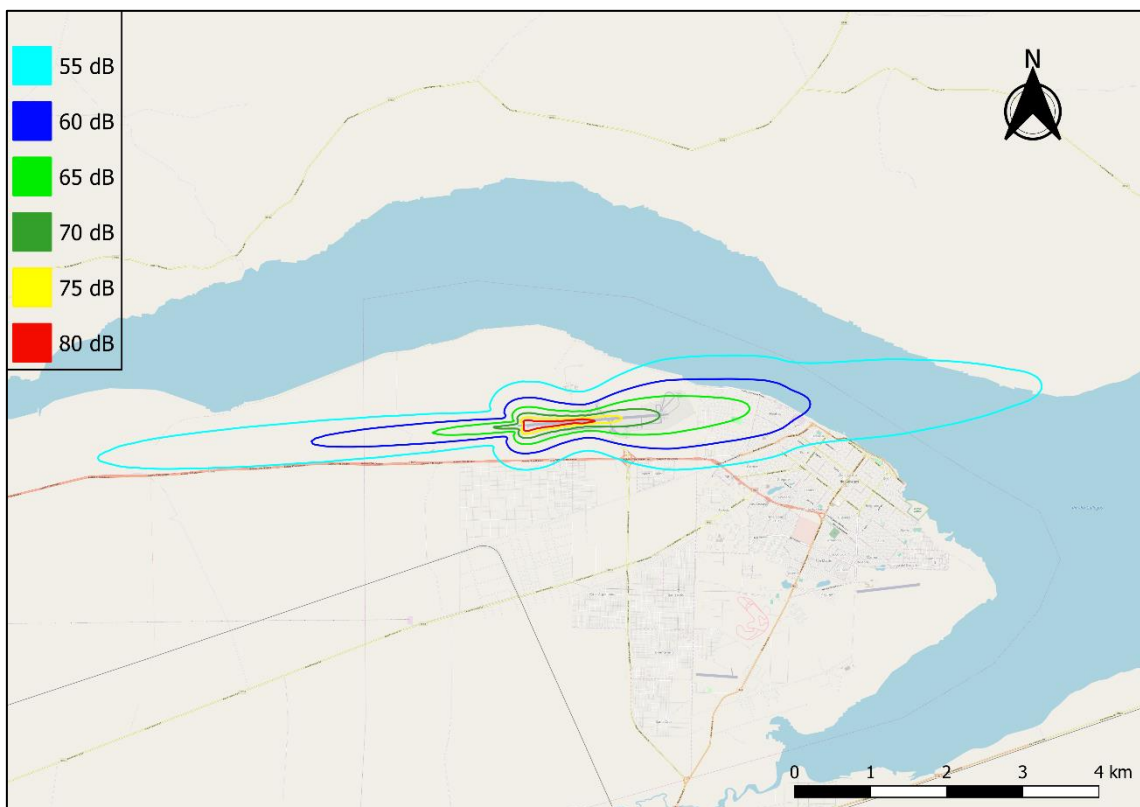
Mapa 17. Población afectada. Pista 07. Aterrizaje y despegue Standard – RGL



Mapa 18. Aeropuerto de Río Gallegos. Pista 07. Aterrizaje y despegue Standard



Mapa 19. Aeropuerto de Río Gallegos. Pista 07. Aterrizaje Standard y despegue OACI-A



Mapa 20. Aeropuerto de Río Gallegos. Pista 07. Aterrizaje Standard y despegue OACI-B

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos correspondientes a cada uno de los aeropuertos y los escenarios operacionales planteados.

Número de personas afectadas por niveles de presión sonora superiores a 65 dB				
Aeropuerto	Pista	Procedimiento de despegue		
		Standard	OACI A	OACI B
Mendoza (MDZ)	18	31.599	27.523	32.966
Salta (SLA)	02	2.388	2.223	2.991
Mar del Plata (MDQ)	13	2.555	2.860	3.159
Jujuy (JUJ)	34	847	863	870
Río Gallegos (RGL)	07	232	51	234

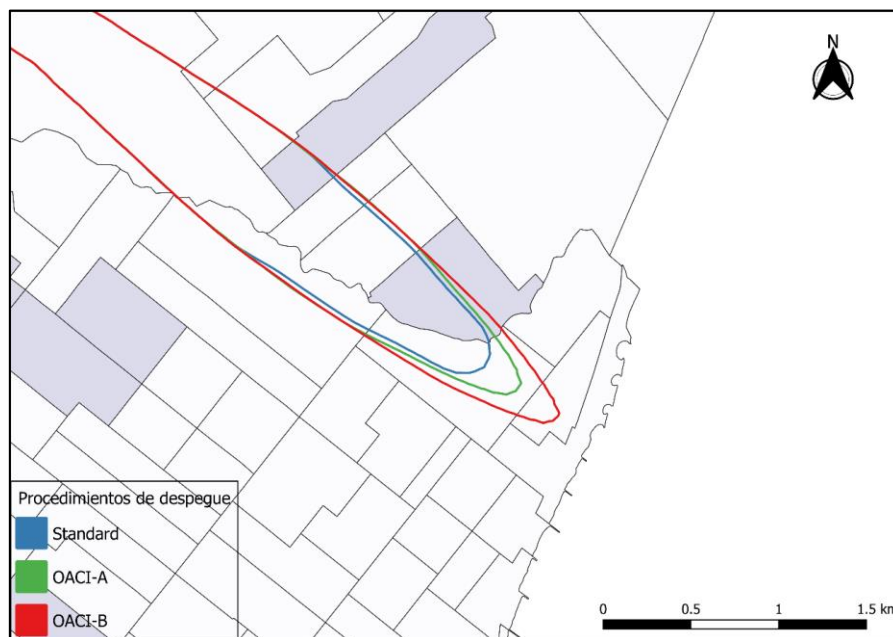
Tabla 12. Cantidad de personas afectadas por aeropuerto y escenario analizado.

Al trabajar bajo el escenario de máximo desarrollo aeroportuario, las curvas de ruido correspondientes a un nivel de presión sonora de 65 dB, superan de manera notable los límites de cada aeropuerto. En función de lograr el objetivo de alcanzar al menor número de personas, una primera alternativa consiste en tratar de ganar la mayor cantidad de altura en menos tiempo, es decir, lograr una tasa de ascenso elevada. Esta maniobra, trae como consecuencia un incremento en nivel de ruido en las zonas cercanas al aeropuerto debido al mayor uso de potencia durante el ascenso. Tal es el caso de los aeropuertos de Mendoza, Salta y Río Gallegos; en los cuales se logró una reducción, con respecto a un procedimiento de despegue Standard, del 12,9%; 6,9% y 78%, mediante el empleo de un procedimiento de reducción de ruido OACI-A.

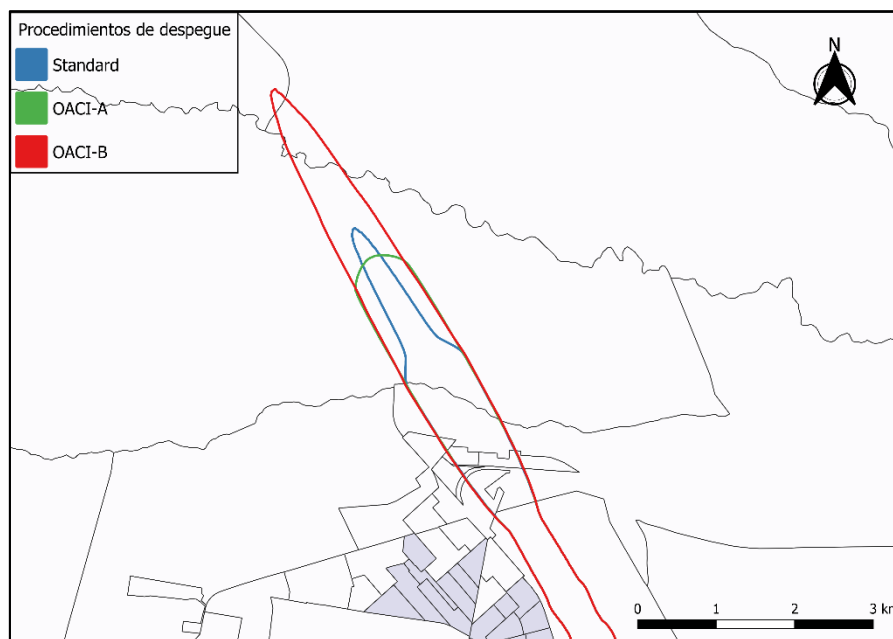
En el caso de los aeropuertos de Mar del Plata y Jujuy, los procedimientos de reducción de ruido propuestos no mostraron ser efectivos bajo las condiciones dadas. Esto no debe tomarse como un factor concluyente, ya que, como es necesario recordar, la población alcanzada se calcula en base a una densidad promedio de todo el radio censal y no a una zona específica dentro de éste, pudiendo existir el caso en que la curva no afecte realmente al número de personas indicadas anteriormente.

Analizando con mayor detalle las curvas de ruido correspondientes al aeropuerto de Mar del Plata, se observa que un procedimiento OACI-A genera una curva levemente más ancha, alcanzando una mayor proporción de área correspondiente a radios censales con mayor densidad de población. La misma situación se presenta para un procedimiento OACI-B. En el Mapa 21 los radios censales de mayor densidad poblacional se encuentran resaltados.

Asimismo, al observar detalladamente los mapas de ruido del aeropuerto de Jujuy, Mapa 22, vemos que la curva de ruido de 65 dB correspondiente a un procedimiento OACI-A resulta más ancha en su extremo comparada con la de un procedimiento Standard, esto significa un aumento del área alcanzada pasando de $4,7 \text{ Km}^2$ a $5,2 \text{ Km}^2$, con el consecuente aumento del número de personas alcanzadas. Con respecto al procedimiento OACI-B, una menor tasa de ascenso contribuye a llevar el límite de la curva de ruido a una mayor distancia. Esta última situación se repite para los demás aeropuertos bajo análisis.



Mapa 21. Detalle de las curvas de ruido - Procedimientos de despegue - Pista 13 - MDQ



Mapa 22. Detalle de las curvas de ruido - Procedimientos de despegue - Pista 34 - JJJ

6.1.1.2. En función del tipo de operaciones

Finalmente, para poder observar cómo afecta la composición del perfil diario de operaciones en la impresión acústica de los aeropuertos, se resaltó el límite de las huellas de ruido de 65 dB correspondiente a cada aeropuerto analizado anteriormente. Se estableció como referencia la utilización de la pista considerada crítica en términos acústicos y procedimientos de aterrizaje y despegue standard.

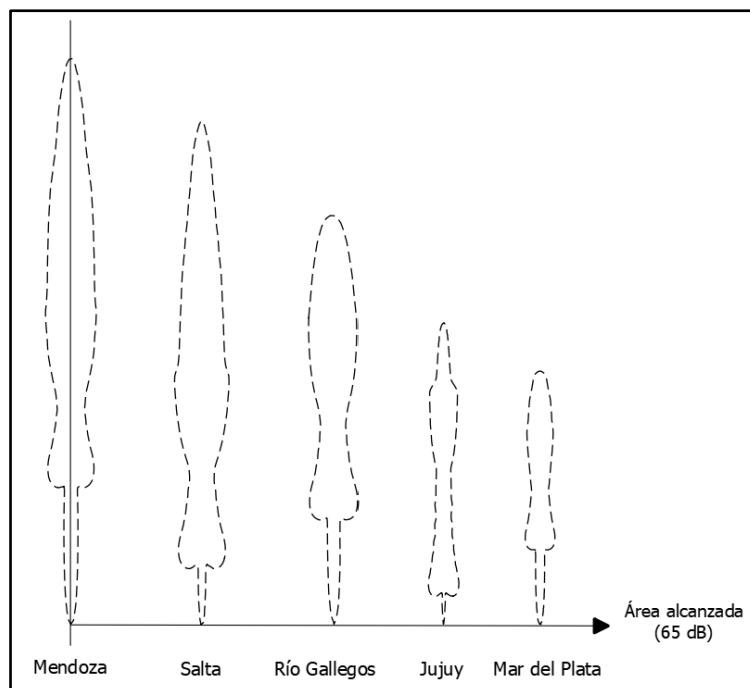


Figura 63. Comparación de las impresiones acústicas entre los distintos aeropuertos analizados. Fuente: Elaboración propia

Luego de una primera observación a la figura anterior, resulta extraño pensar que aeropuertos como el de Río Gallegos y Jujuy, los cuales poseen un menor número de operaciones aéreas en comparación con el aeropuerto de Mar del Plata, presentan una mayor proporción de área alcanzada por niveles de presión sonora de 65 dB. Dicho resultado puede explicarse en función de la métrica utilizada en la obtención de las impresiones acústicas.

Como se describió anteriormente, una de las características más relevantes de la métrica DNL (Nivel de presión sonora día – noche), es el de penalizar con 10 dB la operación de las aeronaves en horario nocturno, es decir, entre las 22:00 a 07:00 horas.

Si analizamos el perfil de operaciones de los aeropuertos analizados, veremos que el número de operaciones nocturnas en sus terminales, en orden de mayor a menor, es el siguiente:

Aeropuerto	Operaciones nocturnas
Mendoza	63
Salta	42
Río Gallegos	36
Jujuy	15
Mar del Plata	9

Tabla 13. Operaciones nocturnas por aeropuerto

Por lo que se puede concluir que, independientemente del total de operaciones, la proporción de operaciones nocturnas contribuye a aumentar considerablemente el tamaño de la huella acústica de los aeropuertos.

6.1.1.3. En función de la trayectoria de ruta de despegue

Según se indica en el documento “ENR-1.5 Reglas y Procedimientos Generales - Procedimientos de espera, aproximación y salida” publicado por la ANAC, se establece que “Las operaciones se realizarán utilizando pistas y trayectorias de ascenso que en todo lo posible no afecten áreas pobladas o áreas sensibles al ruido”. Es por ello que se analizará la afectación acústica que produce sobre la población, una trayectoria de ascenso propuesta, diferente a la trayectoria recta que se tomó como hipótesis inicial.

Debido a la magnitud de sus operaciones, se designó como caso particular para el siguiente análisis al Aeropuerto Internacional de Mendoza.

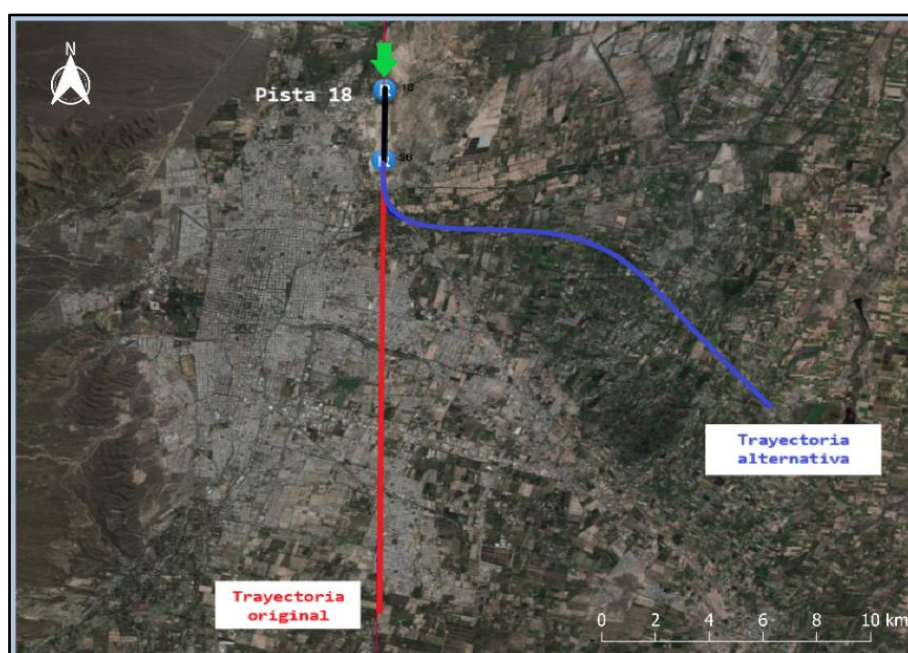
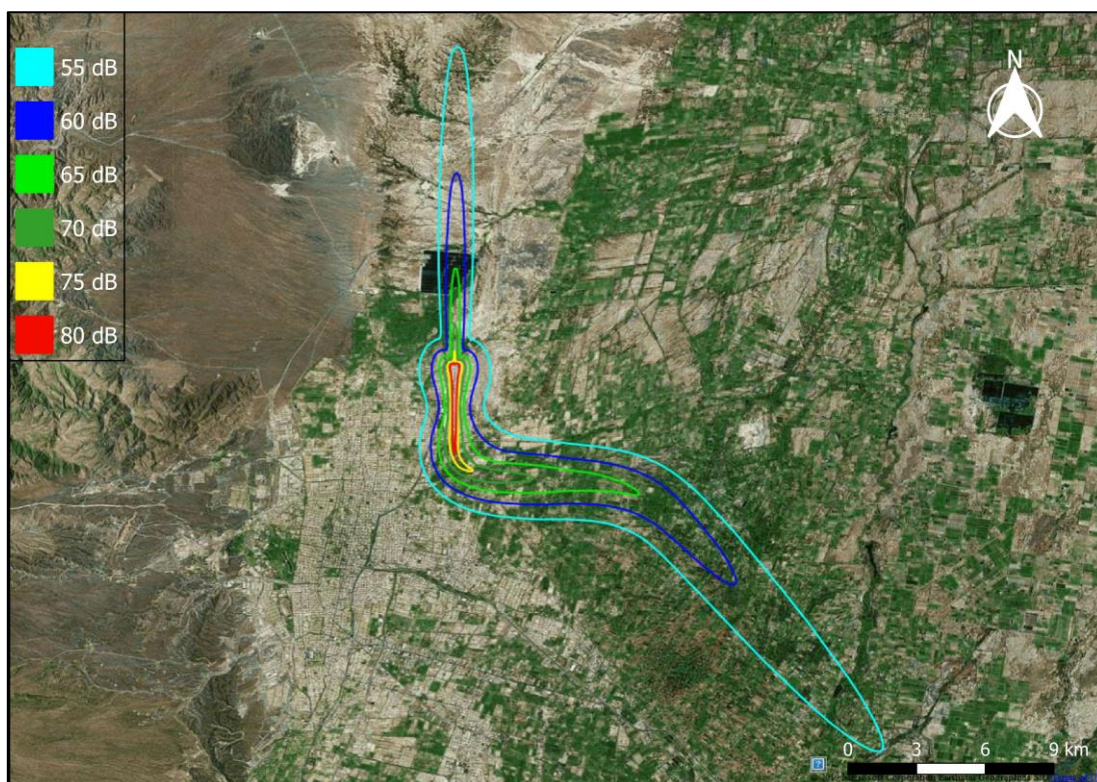
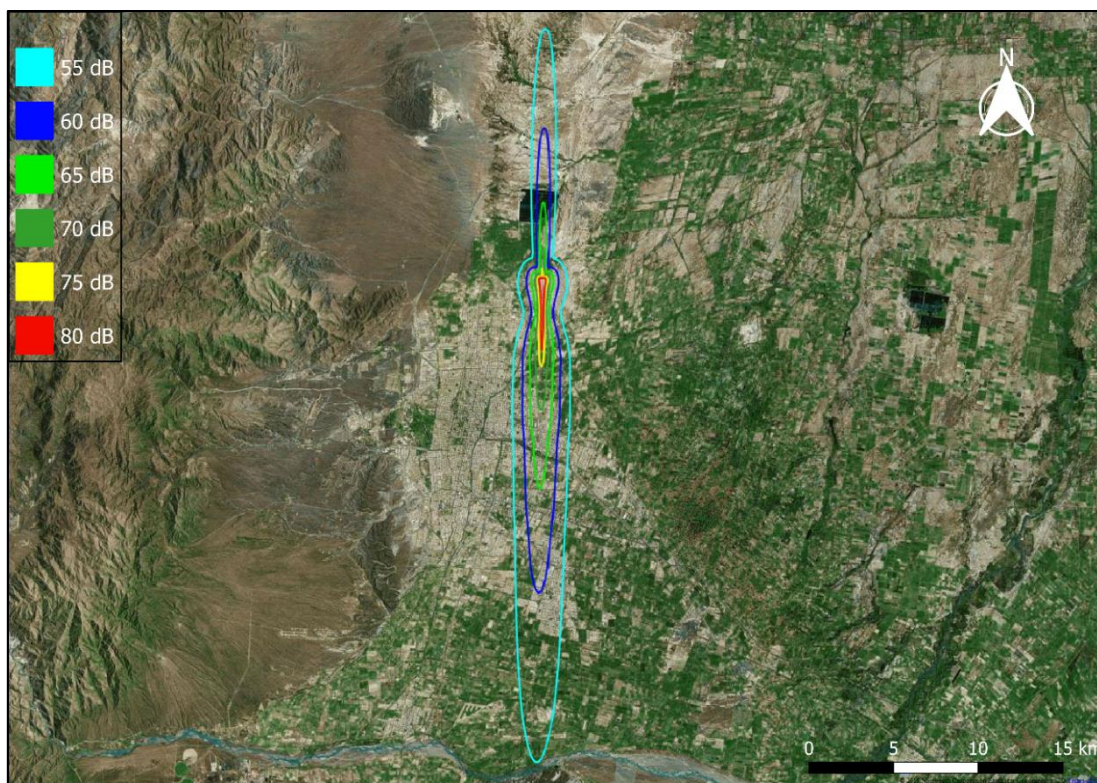


Figura 64. Aeropuerto Internacional de Mendoza. Pista 18. Trayectorias de despegue

Las simulaciones se realizaron tomando como referencia un procedimiento de despegue Standard utilizando la pista definida como crítica.



Como puede observarse en las figuras anteriores, la trayectoria alternativa evita sobrevolar el centro de la ciudad de Mendoza, lo que indudablemente provoca una disminución notable de la afectación acústica sobre la población. La siguiente tabla corresponde al número de personas alcanzadas según cada trayectoria:

Aeropuerto Internacional de Mendoza	Trayectoria de despegue – Pista 18	
	Recta	Alternativa
Número de personas alcanzadas (65 dB)	31.599	7.495

Tabla 14. Número de personas afectadas por tipo de trayectoria de despegue – MDZ

Tal como se muestra anteriormente, el uso de una trayectoria alternativa contribuye a disminuir en un 76% el número de personas alcanzadas por un nivel de presión sonora de 65 dB.

6.1.2. Análisis con métrica SEL

Al utilizarse la métrica DNL, se obtiene un valor promedio diario; en este caso no se reflejan los valores de ruido de las operaciones puntuales.

En el caso de la métrica SEL, es una medida de la duración y magnitud de un solo evento, determinada como nivel de ruido corregido para reducir la influencia de bajas y altas frecuencias (A-weighted). Es por ello que se decidió realizar un análisis con este tipo de métrica para las operaciones de aeronaves particulares.

Las variables a modificar en el siguiente análisis serán:

- 1- Modelo de aeronave
- 2- Peso al despegue
- 3- Tipo de motor.

6.1.2.1. Análisis complementarios en el Aeropuerto de Mendoza

Para los análisis subsiguientes, los escenarios operacionales tendrán como base únicamente el Aeropuerto Internacional de Mendoza debido al volumen de sus operaciones y flujo de pasajeros. Es por ello que se procederá a realizar una caracterización más detallada de su mezcla operativa.

Aeropuerto Internacional de Mendoza		
Aeronave	Operaciones	Porcentaje
Airbus A319	18	4%
Airbus A320	144	29%
Airbus A321	26	5%
Airbus A340-300	18	4%
Boeing 737-300	34	7%
Boeing 738-800	68	13%
Embraer 190	154	30%
McDonnell Douglas MD81	43	9%
TOTAL	505	100%

Tabla 15. Operaciones por aeronaves - Aeropuerto Internacional de Mendoza

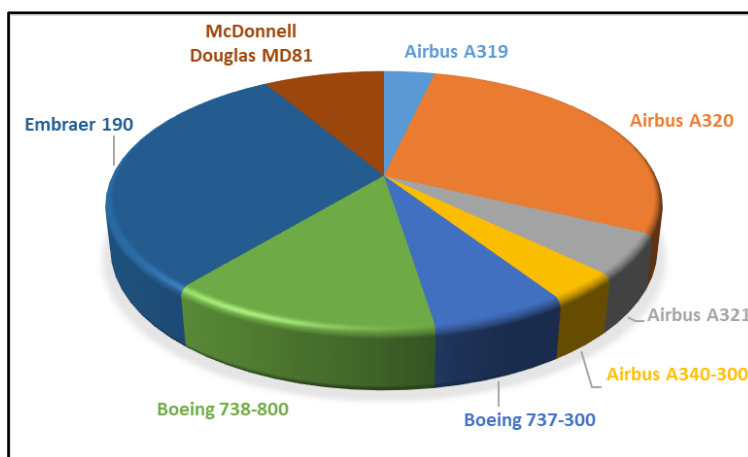


Figura 65. Operaciones por aeronaves - Aeropuerto Internacional de Mendoza

Como puede observarse en la Figura 65, las operaciones correspondientes a las aeronaves Airbus A320 y Embraer 190, representan en conjunto el 60% del total de las operaciones en el Aeropuerto Internacional de Mendoza.

Según reflejan los datos operativos analizados correspondientes al día pico del año 2017, la flota de aeronaves Airbus A320 pertenece a las aerolíneas LATAM Chile y LATAM Argentina.

Este tipo de aeronave representa la mayor parte de su flota operativa para vuelos regionales. A la actualidad, no se tiene información sobre su posible pase a retiro, aunque se espera que sean reemplazados gradualmente por los nuevos Airbus A320neo, de los cuales el grupo LATAM posee 5 unidades (febrero 2019) [46] y ha realizado pedidos por 36 unidades más. Sus dos motores Pratt & Whitney PW1127-G tienen mayor potencia y son más eficientes: ofrecen un consumo 15% más bajo, con respecto a la versión anterior, y un 50% menos de impacto acústico [47].



Figura 66. Airbus A320 de LATAM - Características generales

Por otra parte, la flota de aeronaves Embraer 190 pertenece a la aerolínea Austral Líneas Aéreas. Actualmente, la empresa cuenta con un total de 26 de estas aeronaves, de las cuales 20 llegaron entre 2010 y 2011 para reemplazar a los MD-80 que tenía la empresa. Luego se sumaron dos más en 2013 y durante 2016 llegaron cuatro más, dos de ellos nuevos de fábrica (como los 22 anteriores) y dos por leasing que habían sido operados por una subsidiaria de United en Estados Unidos.

El incremento de la demanda de pasajeros en Argentina está proyectando un fuerte aumento de las capacidades operativas de las líneas aéreas. Ante tal situación, Austral Líneas Aéreas reconoce que sus aviones resultan insuficientes para hacer frente a este crecimiento.

Todos los Embraer 190 de Austral tienen un total de 96 asientos según el sitio oficial de la compañía. Son 8 en Club Economy y 88 en económica. Además, poseen un rango máximo de 3200 Km.

El plan de la compañía consiste básicamente en reemplazar la flota con aeronaves de mayor tamaño.



Figura 67. Embraer 190AR de Austral. Fuente: www.aerolineas.com.ar

“En un mercado en crecimiento como el nuestro, todo indica que el E190 no es el avión adecuado”, dijo el director financiero de Aerolíneas Argentinas, Abbott Reynal, en una entrevista. “Si usted tiene un mercado que consume más, no tiene sentido volar con un avión pequeño y el mismo número de pilotos, mecánicos y así sucesivamente”.

En resumen, la lógica del reemplazo es simple. En un contexto de crecimiento del mercado doméstico, tiene más sentido ocupar el slot de aeropuertos y cubrir la demanda de la ruta con un avión más grande y de costos fijos similares. A mayor cantidad de pasajeros, esos costos se dividen entre más asientos y, por ende, el rendimiento de la ruta mejora.

En un comunicado realizado el 28 de octubre de 2018, Aerolíneas Argentinas informó que se presentaron veinte ofertas para reemplazar los Embraer de Austral por aviones más grandes. La mayoría de estas ofertas corresponden a empresas dedicadas a la actividad de leasing de aeronaves (lessors) y como era de esperarse, los tres grandes fabricantes de aeronaves; Embraer, Airbus y Boeing, presentaron sus propuestas.

6.1.2.1.1. En función de distintos modelos de aeronaves propuestos

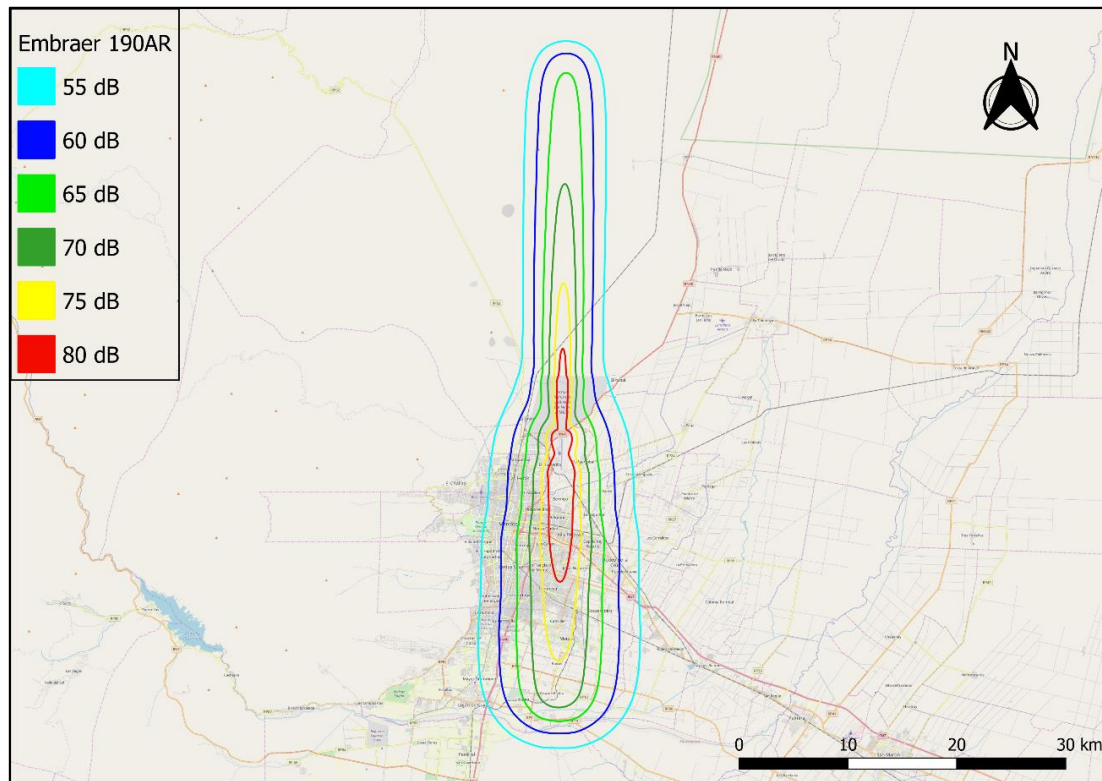
En los términos del presente trabajo final, y aprovechando la oportunidad que ofrece la situación particular de Austral, se procederá a realizar la simulación de un escenario operacional utilizando una aeronave representativa de cada fabricante, cuya elección resulta más probable como posible reemplazo para los Embraer 190AR de la flota actual.

El análisis anterior tiene como objetivo caracterizar acústicamente cada tipo de aeronave y evaluar cuál de ellas resulta más eficiente en términos de afectación acústica sobre la población. Para ello, se tomará como parámetro de referencia, el área encerrada por la curva de ruido correspondiente a 65 dB.

Se establece como base del presente análisis, que las operaciones, tanto de despegue como aterrizaje, se realizan utilizando la pista 18 del Aeropuerto Internacional de Mendoza siguiendo un procedimiento de aproximación y despegue Standard.

A continuación, se muestran los mapas estratégicos de ruido correspondientes a cada aeronave:

➤ Embraer 190AR



Mapa 25. Embraer 190AR - Pista 18 – Aterrizaje y despegue Standard – MDZ

Los resultados obtenidos mediante el procesamiento de datos a través de QGis, arrojan que un área de 307 Km^2 se encuentra alcanzada por niveles de presión sonora de 65 dB.

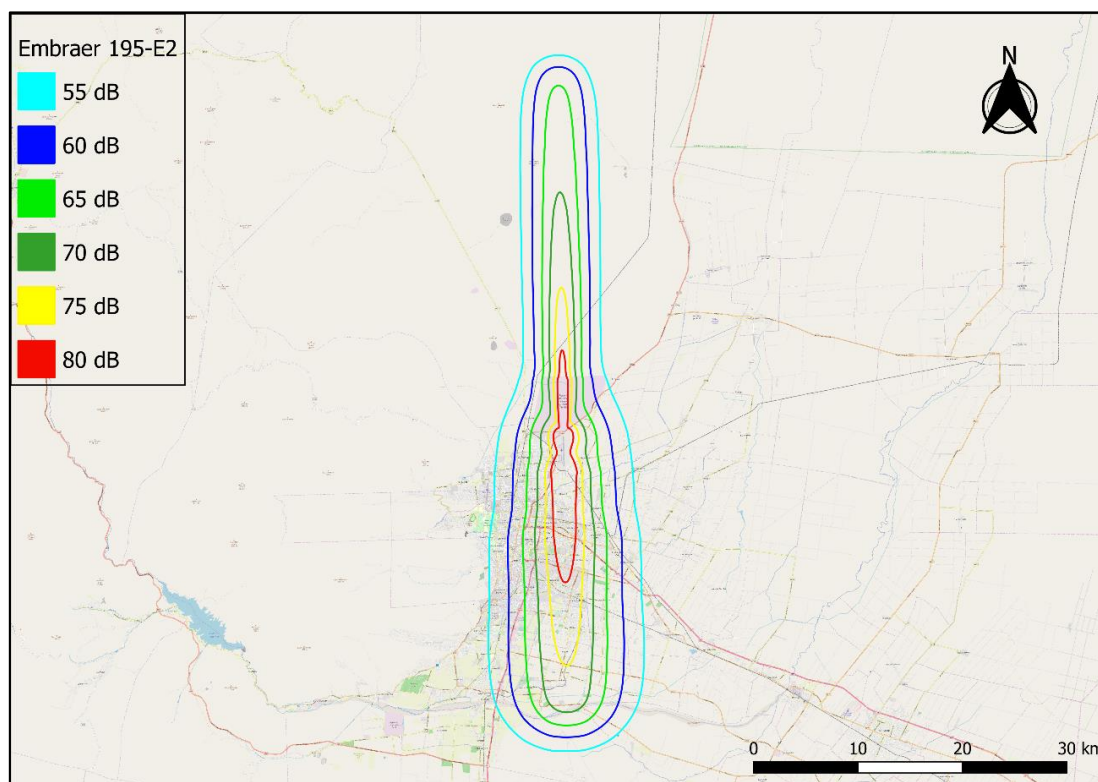
Como criterio de comparación, se tomará como valor de referencia el área antes mencionada, y en función de ella se establecerá un porcentaje de variación de superficie alcanzada.

➤ Embraer 195-E2

Es el más grande de la familia de jets E2 de Embraer. El total de asientos sería de 132 en configuración de clase única o 120 en configuración de dos clases, con 12 + 108. Con 4500km de alcance máximo y un techo de servicio de 41.000 pies, es una buena alternativa.



Figura 68. Presentación del Embraer 195-E2 en São José dos Campos, 7 de marzo de 2017.



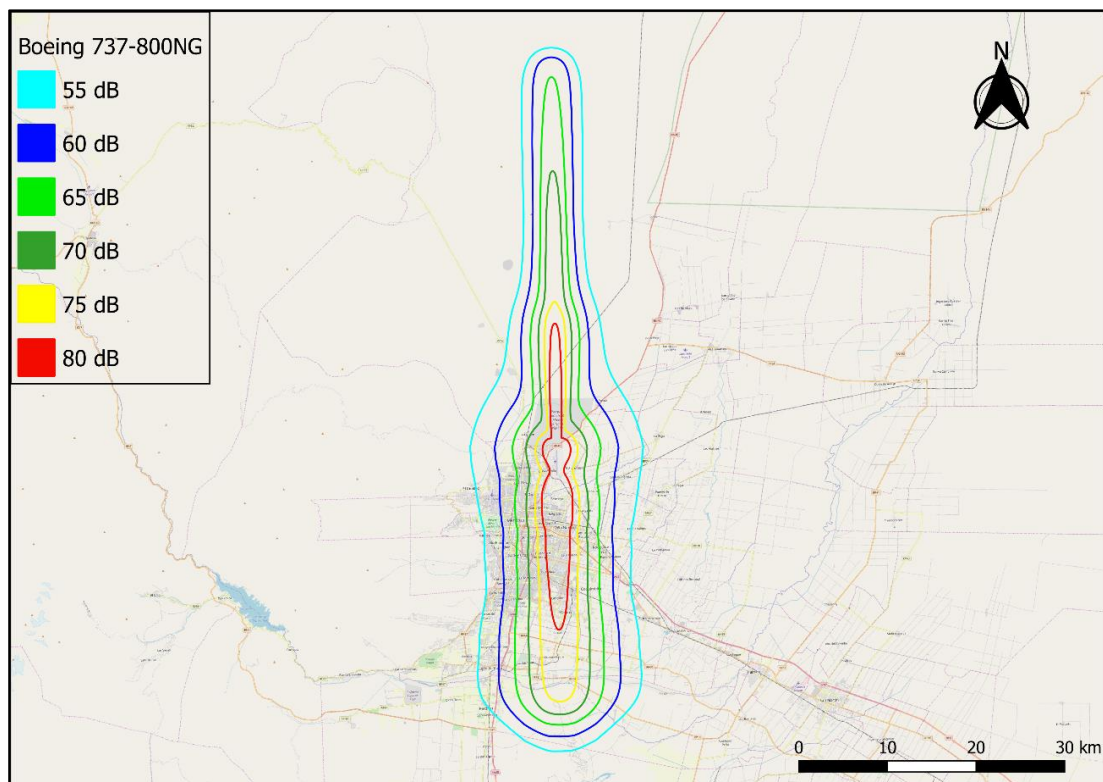
Mapa 26. Embraer 195-E2 – Pista 18 – Aterrizaje y despegue Standard – MDZ

➤ Boeing 737-800NG

El 737-800 es un avión de fuselaje estrecho de corto y mediano alcance. Tiene capacidad para 162 pasajeros en una configuración de dos clases, o 189 en una clase. La principal razón para considerar esta aeronave como un posible reemplazo, es la de buscar estandarizar la flota de Austral y Aerolíneas Argentinas en una sola línea bajo el 737-800, lo que redundaría en la capacidad de transportar pasajeros, y haría más simple la logística de operación del grupo.



Figura 69. Boeing 737-800NG de Aerolíneas Argentinas



Mapa 27. Boeing 737-800NG – Pista 18 – Aterrizaje y despegue Standard – MDZ

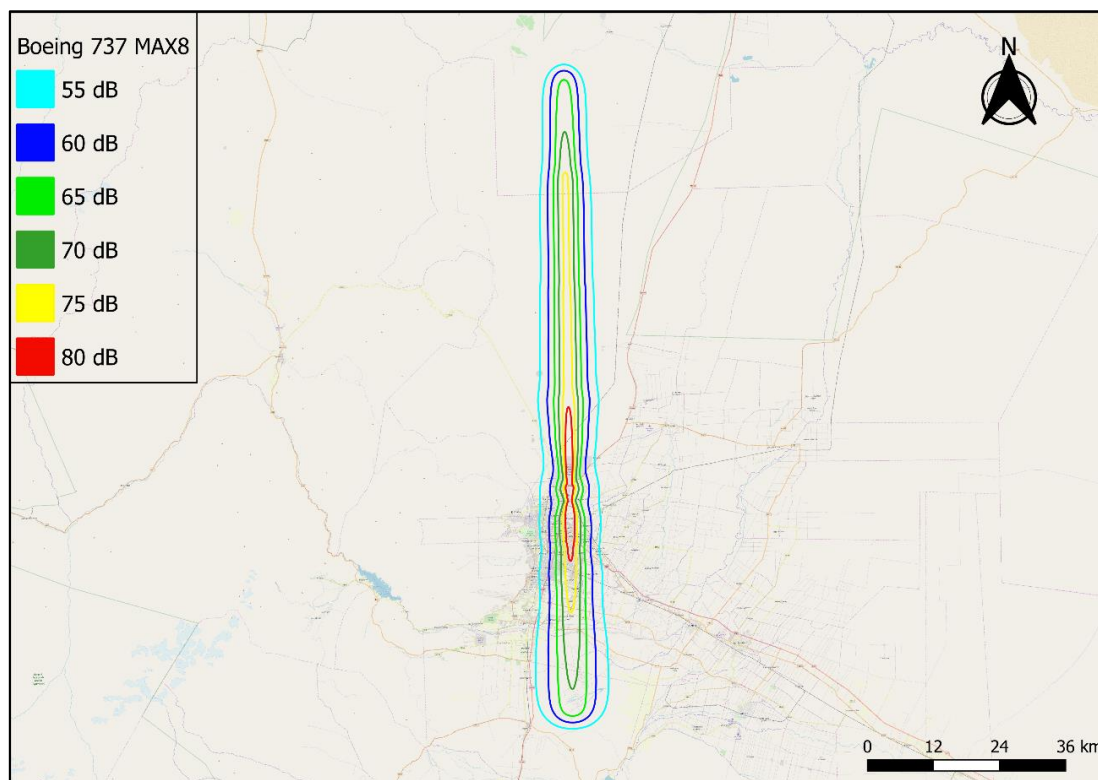
➤ Boeing 737 MAX8

La familia de los MAX incorpora la última tecnología en motores silenciosos, el CFM LEAP-1B , a fin de reducir en un 40% la huella acústica del avión [48]. Además, sus innovadores winglets y otras mejoras permiten ofrecer la más alta eficiencia, confiabilidad y confort a los pasajeros de aviones de fuselaje angosto.

La aeronave incorpora 170 asientos y tiene un alcance de 3.515 millas náuticas (6.510 kilómetros).



Figura 70. Boeing 737 MAX8 de Aerolíneas Argentinas



Mapa 28. Boeing 737 MAX8 – Aterrizaje y despegue Standard – MDZ

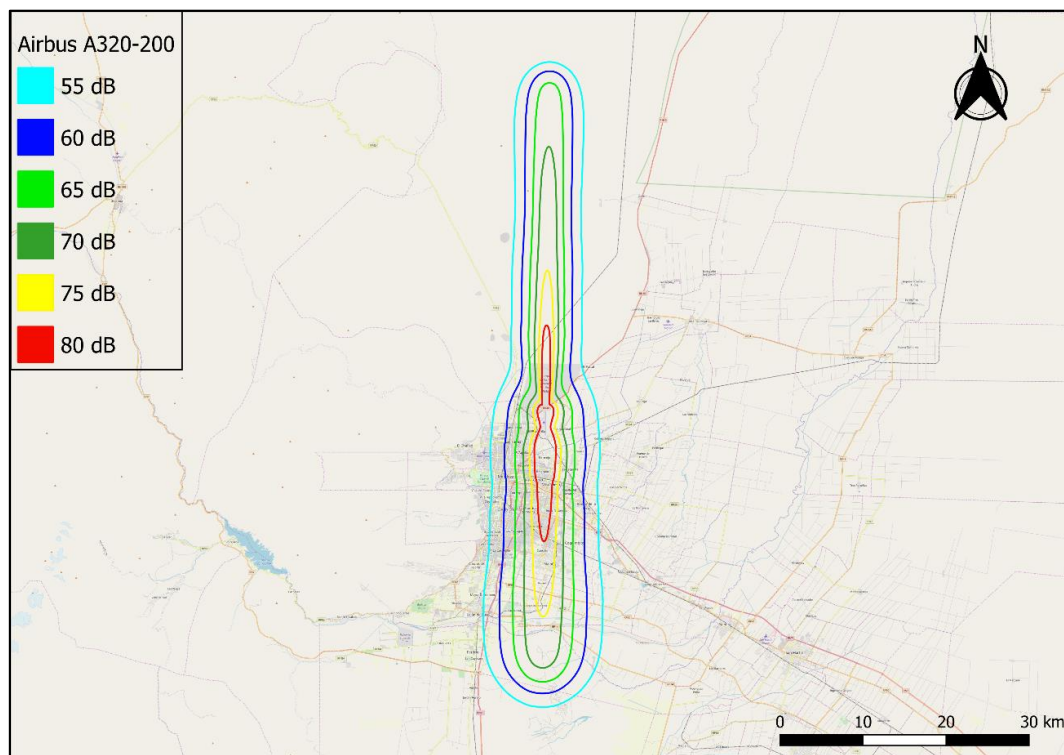
➤ Airbus A320-200

El Airbus A320-200 es un avión a reacción de un único pasillo y dos motores iguales fabricado por el consorcio europeo Airbus Industries.

Forma parte de la familia del Airbus A320, la línea de aviones más vendida del mundo, probablemente más conocida por ser el primer avión en introducir el sistema fly-by-wire, mediante el cual los controles del piloto se transmiten a las partes en movimiento en vuelo por medio de señales electrónicas en vez de por medios mecánicos.



Figura 71. Airbus A320-200 de LAN



Mapa 29. Airbus A320-200 – Aterrizaje y despegue Standard – MDZ

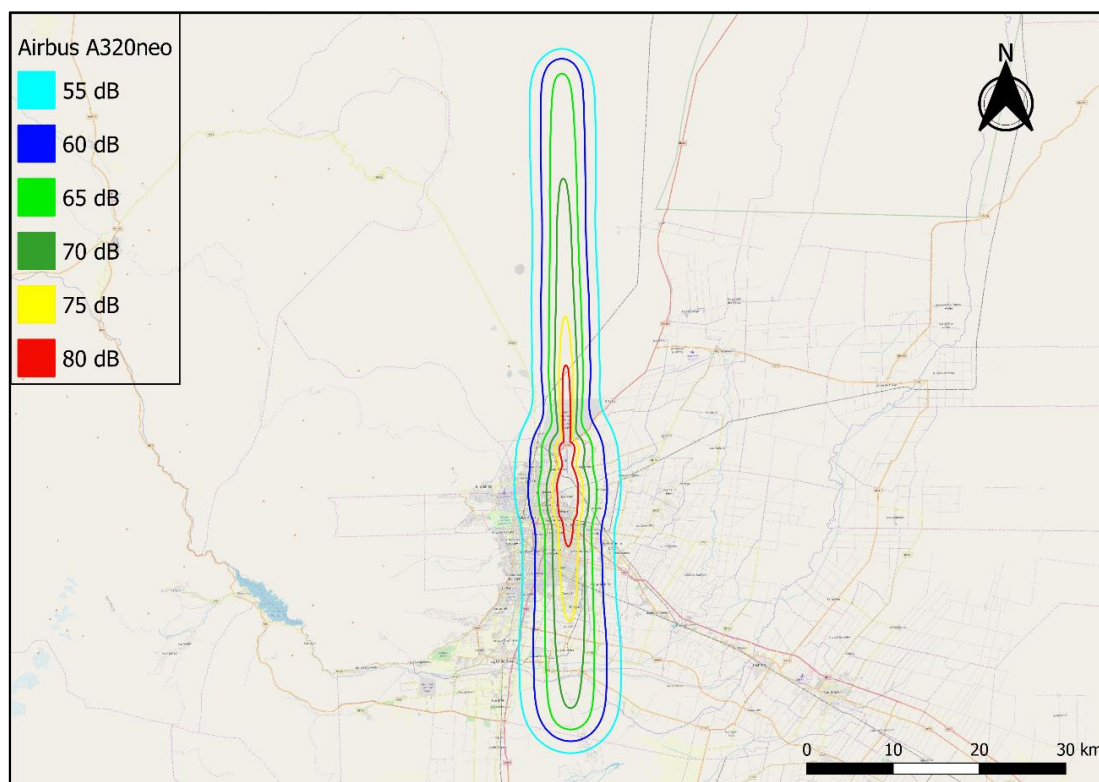
➤ Airbus A320neo

El principal cambio de esta variante es el uso de motores de mayor potencia y más eficientes, que ofrecen frente a la anterior versión del A320 un consumo 15 % menor, un coste operativo un 8 % más bajo, una reducción del 50 % en emisiones de NOx y menor impacto acústico, de acuerdo a los datos estimados por Airbus.

El fuselaje, así como las alas, también presentan diversas modificaciones, entre las que se incluyen la instalación de dispositivos de punta alar denominados *sharklets*, y diversas mejoras en el interior del fuselaje. Cuenta con un total de 165 asientos en clase única.



Figura 72. Primera aeronave de la serie A320neo entregada a Lufthansa



Mapa 30. Airbus A320neo – Aterrizaje y despegue Standard – MDZ

En la siguiente tabla, podemos observar el área afectada por cada aeronave y el porcentaje de variación de la misma con respecto a la del Embraer 190AR de Austral.

Aeropuerto Internacional de Mendoza – Área alcanzada [Km2] – 65 dB					
Emb190AR	Emb195-E2	B737-800NG	B737 MAX8	A320-200	A320neo
307	320	457	528	375	331
Porcentaje de variación	4,50%	49,10%	71,11%	22,40%	7,89%

Tabla 16. Área afectada por tipo de aeronave - Aeropuerto Internacional de Mendoza

Entre las distintas alternativas, cada una presenta sus ventajas y desventajas. Estandarizar la flota de Austral y Aerolíneas Argentinas mediante la adquisición del nuevo Boeing 737-800NG, como se mencionó anteriormente, haría más simple la logística de operación del grupo y contribuiría a disminuir los costos de operación.

Por otra parte, una opción sería reemplazar la flota con nuevos Airbus 320-200 como los de LAN, pero para traer un avión tan grande como el 320 -para la ruta y misión actual- y tener que cambiar todo el soporte logístico y de operaciones resultaría complejo y antieconómico.

Si tanto Boeing como Airbus ofrecen las variantes de última generación (MAX 8 y 320neo), se deberá analizar si los beneficios aparejados a estas nuevas aeronaves realmente justifican la inversión correspondiente. Si para una ruta corta y de relativamente baja demanda no se aprovechan las oportunidades resultando en un avión sobredimensionado, será tan antieconómico como si faltara.

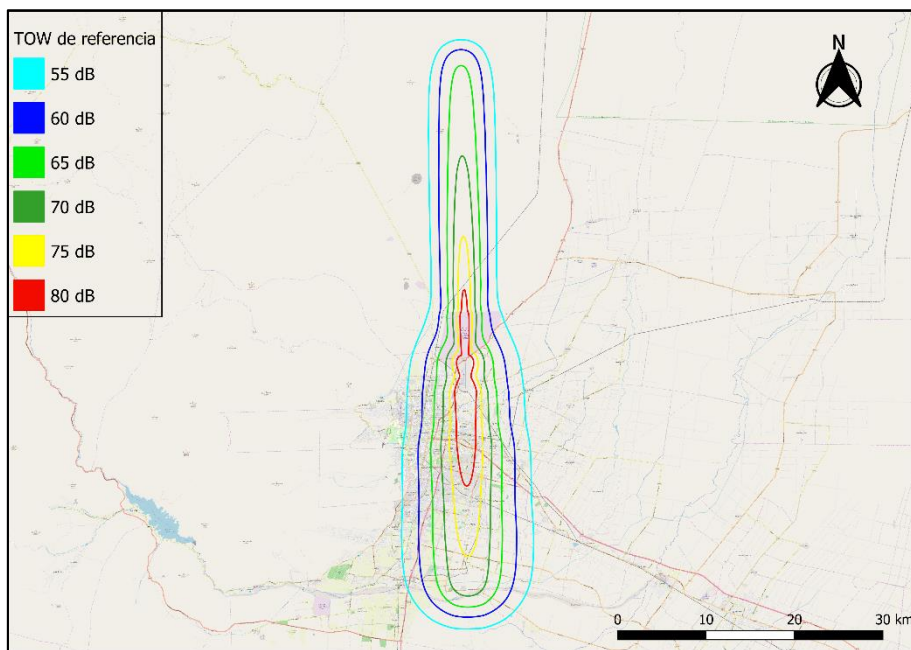
Mas allá de los distintos análisis técnicos y económicos los cuales escapan al objetivo del presente trabajo final, la huella acústica del Embraer 195-E2 es la que presenta el menor incremento con respecto a la del Embraer 190AR. Es por ello que se tomará de referencia para los análisis siguientes.

6.1.2.1.2. En función del peso al despegue de la aeronave seleccionada

Como es de esperarse, el hecho de que disminuya el peso al despegue de la aeronave, hará que se reduzcan los niveles de ruido producidos por ésta. En cuyo caso, nos interesa expresar esa reducción en términos de porcentajes de reducción de área, tomando como valor de referencia el área afectada por la operación de un Embraer 195-E2, utilizando una configuración de despegue

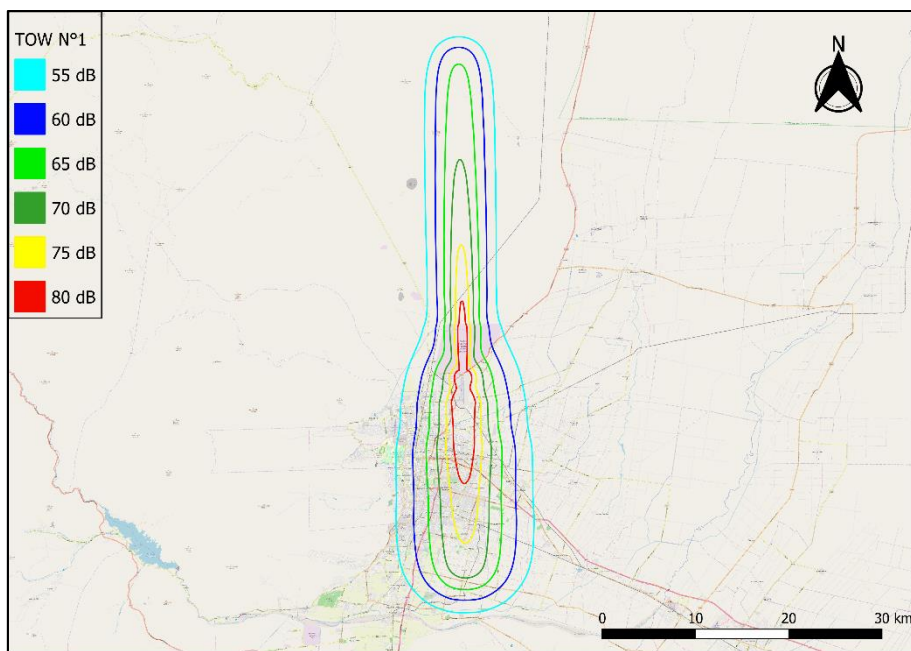
correspondiente al 80% de su MTOW (Maximum Take-Off Weight, por sus siglas en inglés). Además de simular esta condición, se realizarán tres simulaciones adicionales contemplando las distintas variaciones de peso preestablecidas en el software AEDT.

➤ TOW de referencia (80% MTOW): 105.138 lb



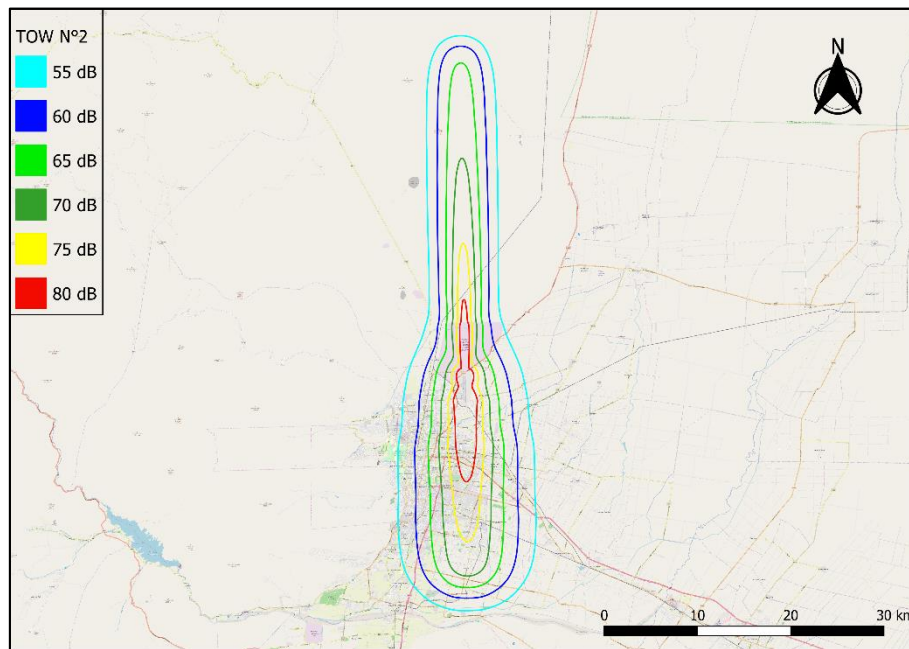
Mapa 31. Embraer 195-E2 – TOW de referencia

➤ TOW N°1 (73% MTOW): 96.388 lb



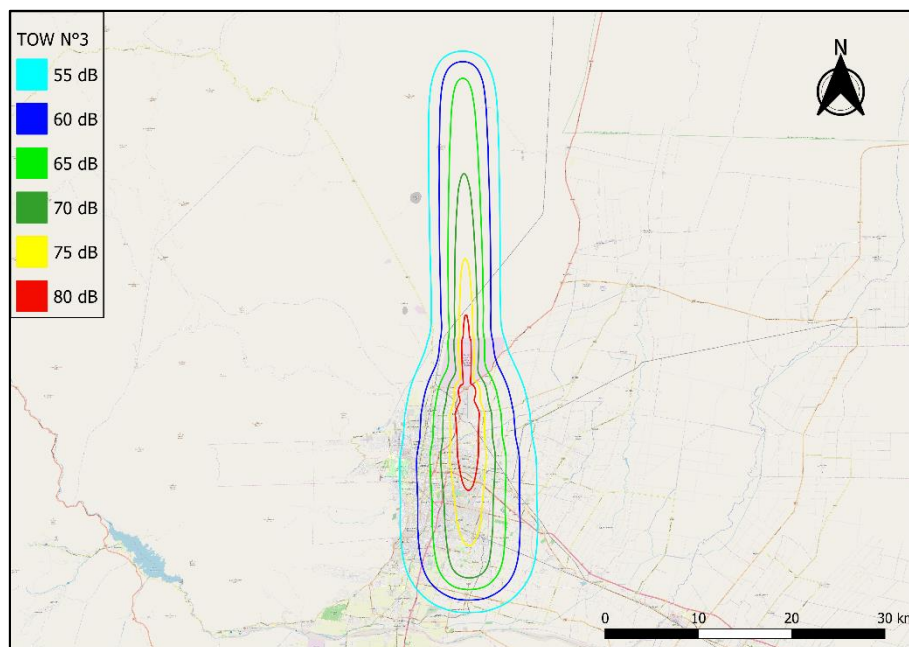
Mapa 32. Embraer 195-E2 - TOW N°1

➤ TOW N°2 (69% MTOW): 91558 lb



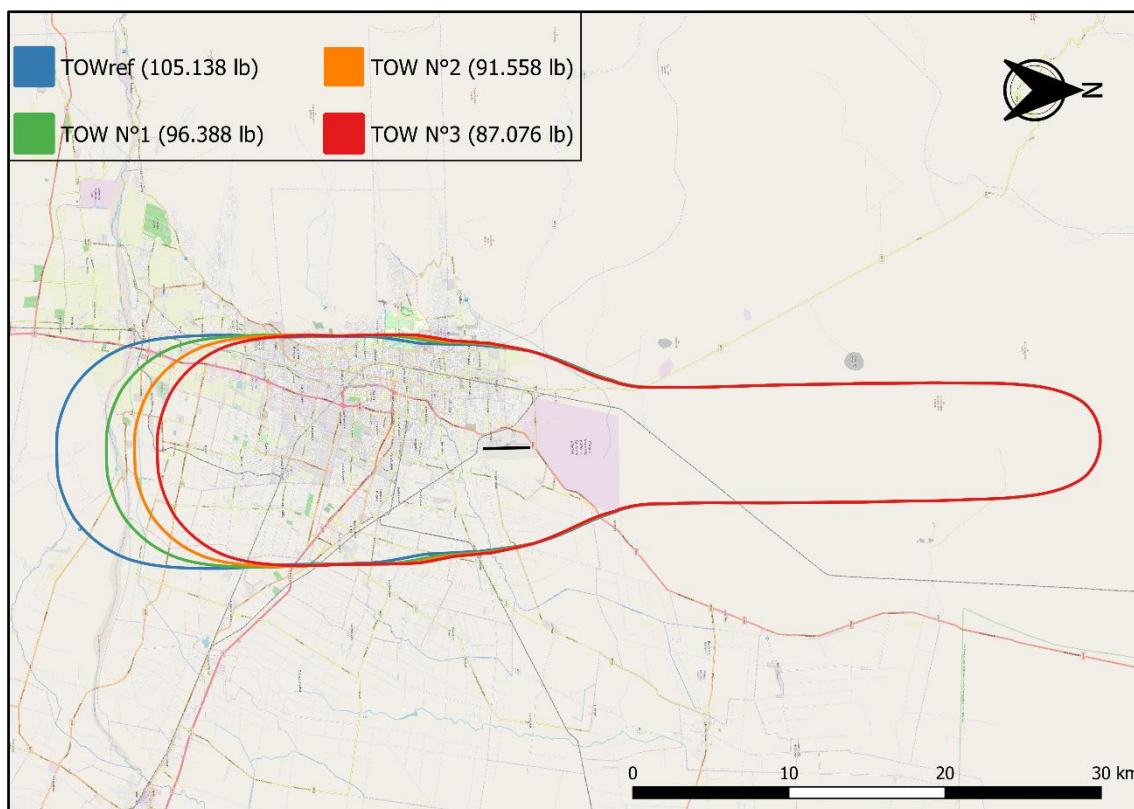
Mapa 33. Embraer 195-E2 - TOW N°2

➤ TOW N°3 (66% MTOW): 87076 lb



Mapa 34. Embraer 195-E2 - TOW N°3

A continuación, se resaltan los límites exteriores (55 dB) de las huellas acústicas anteriores, a fin de observar con mayor detalle la reducción del área alcanzada.



Mapa 35. Embraer 195-E2 - Área alcanzada en función del peso al despegue

Peso al despegue – Embraer 195-E2				
Configuración	TOWref	TOW 1	TOW 2	TOW 3
Peso [lb]	105.138	96.388	91.558	87.076
Área alcanzada [Km²]	320	297	284	273
Porcentaje de variación de área		7,29%	11,53%	14,93%

Tabla 17. Área alcanzada en función del peso al despegue – Embraer 195-E2 – MDZ

Tal como se puede observar, los análisis georeferenciales nos indican que una reducción del 8,3% del peso al despegue, implica una reducción del 7,3% del área alcanzada por niveles de presión sonora de 65 dB, mientras que una reducción del 12,9% del peso disminuirá el área en un 11,5% y con una reducción del 17,2% del peso, el área disminuirá 14,9%.

6.1.2.1.3. En función del tipo de motor utilizado por la aeronave seleccionada

Los fabricantes aeronaves y motores han trabajado tenazmente para reducir los niveles de ruido de las aeronaves, por lo que las aeronaves que se fabrican hoy son cerca del 75% más silenciosas que las de los años 60. Los avances importantes que se han logrado en los diseños de células y sistemas de propulsión (motor y barquilla) sumados al mejoramiento en la performance de las aeronaves, han contribuido a reducir el ruido que producen [49].

Para la aeronave bajo estudio, se proponen tres modelos diferentes de motores y se procederá a determinar el área afectada por niveles de ruido superiores a 65 dB.

Una vez más, para la obtención de las huellas acústicas, se considerarán procedimientos de aterrizaje y despegue Standard a través de la Pista 18 del Aeropuerto Internacional de Mendoza.

➤ Motor Pratt and Whitney 1900G

Forma parte de la serie de motores conocidos como GTF (Geared Turbo Fan), debido a el sistema de engranajes de accionamiento del ventilador del motor. Además, incorpora avances en aerodinámica, materiales livianos y otras mejoras tecnológicas importantes en su tren de alta presión, la turbina de baja presión, la cámara de combustión, los controles, el monitoreo del estado del motor y más [50].

Embraer seleccionó a Pratt & Whitney como proveedor exclusivo para la propulsión de la segunda generación de E-Jets de Embraer, incluyendo el EMB 195-E2.



Figura 73. Motor PW1900G bajo el ala de una aeronave E190-E2

La operación comercial de este motor comenzó en abril de 2018 con la entrega de la primera aeronave E190-E2 (la cual utiliza el mismo motor que el E195-E2) al cliente de lanzamiento noruego Widerøe Airlines. Debido a esto, la versión utilizada del software AEDT no posee en su base de datos, información sobre este tipo de motor. No es el caso del motor LEAP1 de CFM International, cuyo modelo LEAP1-B es utilizado en los Boeing 737 MAX 8.



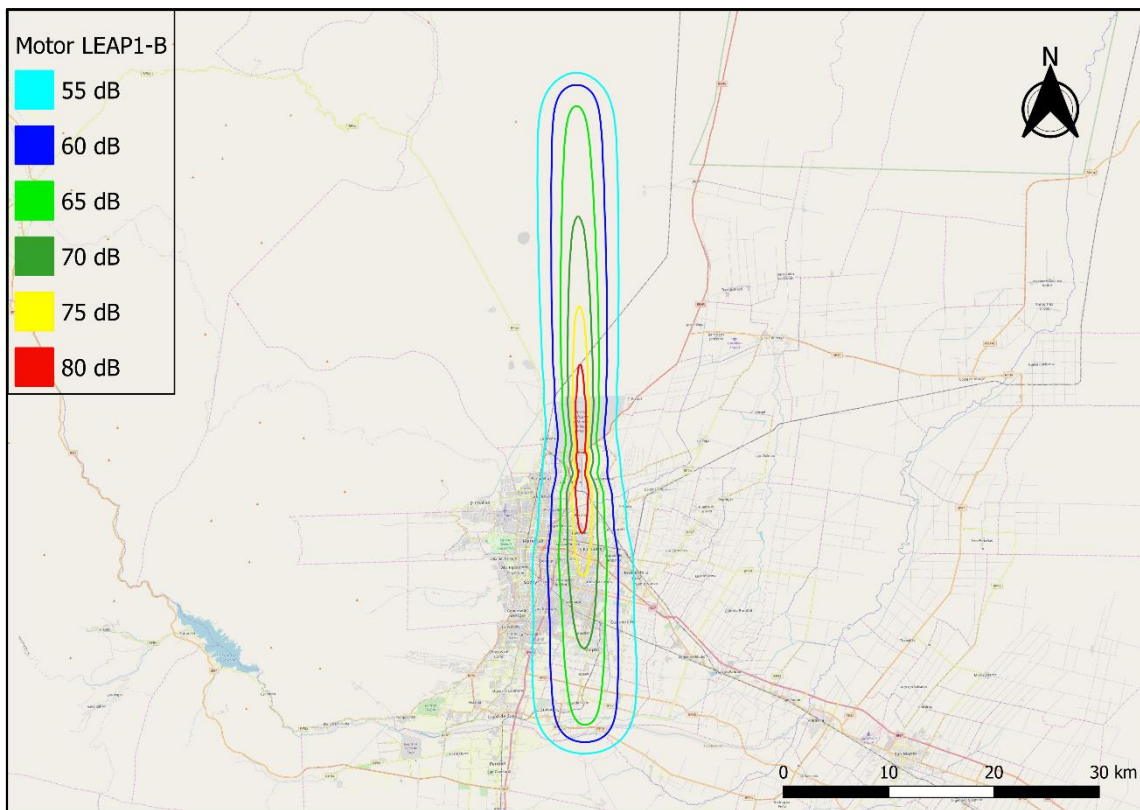
Figura 74. Motor LEAP1-B bajo el ala de una aeronave B737 MAX 8

Ambos motores presentan características constructivas y técnicas similares, y apuntan al mismo segmento de mercado, por lo que se realizará una simulación teniendo en cuenta esta última opción de motorización.

Motor	PW1900G	LEAP1-B
Fabricante	Pratt & Whitney	CFM International
Diametro del fan [in]	73	69
Compresor	1 Fan - Gear - 3 LPC - 8 HPC	1 Fan - 3 LPC - 10 HPC
Turbina	2 HP - 3 LP	2 HP - 7 LP
Relación de derivación	12:1	9:1
Peso [Kg]	≤ 2177 kg	≤ 2780
Empuje máximo al despegue [lbf]	> 23000	> 28040
Empuje máximo continuo [lb]	20305	27270
Aplicaciones	Embraer 190-E2 / Embraer 195-E2	Boeing 737 MAX

Tabla 18. Especificaciones técnicas - Motores PW1900G y LEAP1-B [43][44]

A continuación, se observa el mapa estratégico de ruido obtenido para el motor en cuestión:



Mapa 36. Embraer 195-E2 con motor LEAP1-B – Aterrizaje y despegue Standard – Pista 18 – MDZ

➤ Motor CFM56-5B

Los motores de la serie CFM International CFM56 corresponden a una familia de motores turbofan de alto índice de derivación construido por CFM Internacional, empresa resultante de la unión entre Snecma (Francia) y GE Aviation (EE.UU).



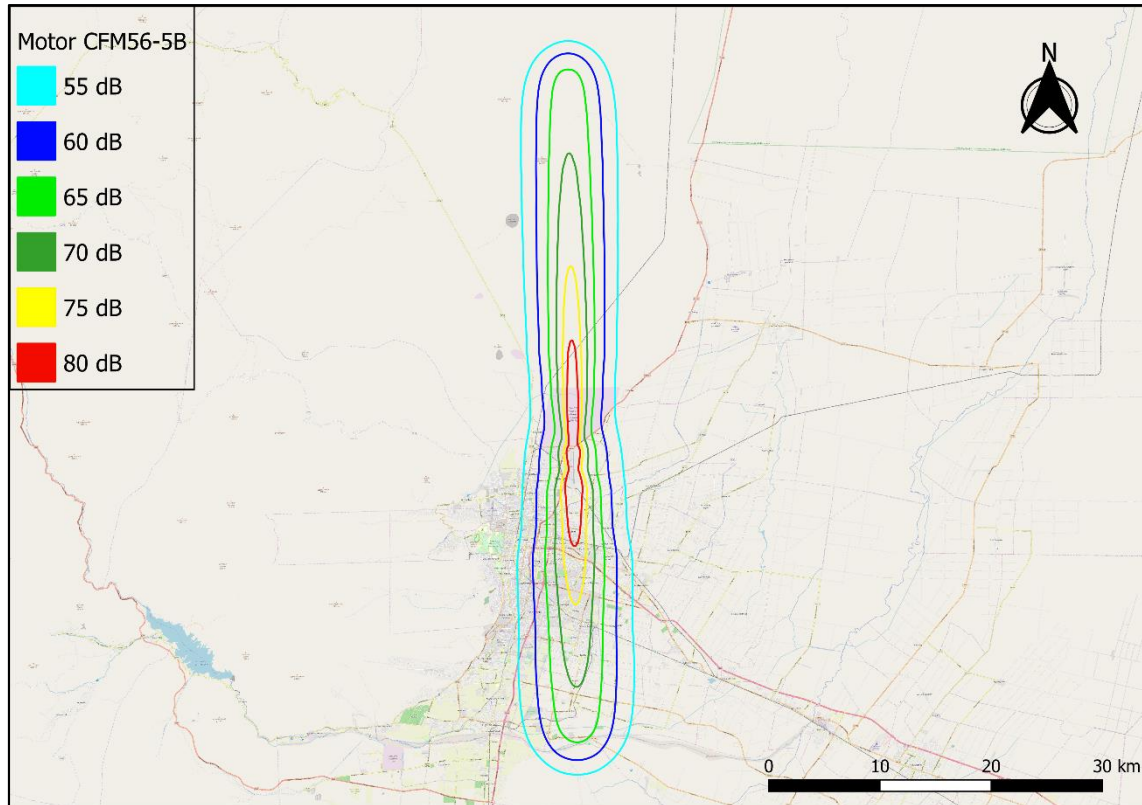
Figura 75. Motor CFM56-5B. Fuente: CFM International

Este motor, es una mejora del CFM56-5A, diseñado originalmente como motor del A321. Al día de hoy, es el motor de todos los modelos de la familia A320 (A318/A319/A320/A321) [51].

Para cumplir con las restricciones ambientales más exigentes, CFM International ofrece a las aerolíneas un Carburador Anular Doble (DAC) opcional, que reduce hasta en un 40 por ciento las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en comparación con un diseño de cámara de combustión estándar [52].

Motor	CFM56-5B
Fabricante	CFM Internacional
Diametro del fan [in]	68
Compresor	1 Fan - 4 LPC - 9 HPC
Turbina	1 HP - 4 LP
Relación de derivación	6:1
Peso [Kg]	2454
Empuje máximo al despegue [lbf]	27000
Empuje máximo continuo [lbf]	24390
Aplicaciones	A318 / A319 / A320 / A321

Tabla 19. Especificaciones técnicas - Motor CFM56-5B [45]



Mapa 37. Embraer 195-E2 con motor CFM56-5B – Aterrizaje y despegue Standard – Pista 18 – MDZ

➤ Motor CF34-10E7

En 1992, la división aeronáutica de General Electric (GE Aviation) lanzó al mercado de la aviación regional los motores CF34. Hoy en día, se estima que estas turbinas ayudan a transportar diariamente a más de 12 mil pasajeros aéreos, en vuelos que recorren más de 69 países.



Figura 76. Motor CF34-10E7

Estos motores que se han distinguido por sus bajos niveles de emisiones de carbono, poca producción de ruido y alta eficiencia de combustible.

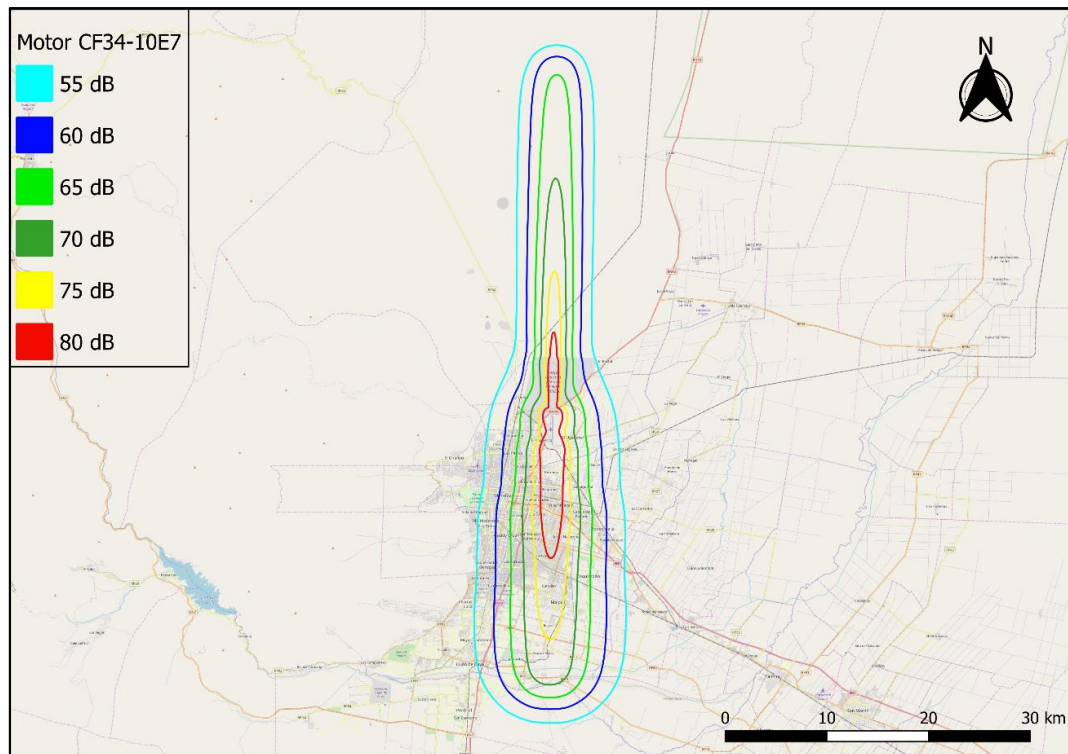
Actualmente, los modelos 10E impulsan aviones medianos como los Embraer 190 y 195.

Motor	CF34-10E7
Fabricante	GE Aviation
Diametro del fan [in]	53
Compresor	1 Fan - 3 LPC - 9 HPC
Turbina	1 HP - 4 LP
Relación de derivación	5,4:1
Peso [Kg]	1678
Empuje máximo al despegue [lbf]	20360
Empuje máximo continuo [lbf]	17040
Aplicaciones	E190 / E195 / E Lineage 1000

Tabla 20. Especificaciones técnicas - Motor CF34-10E7 [53]

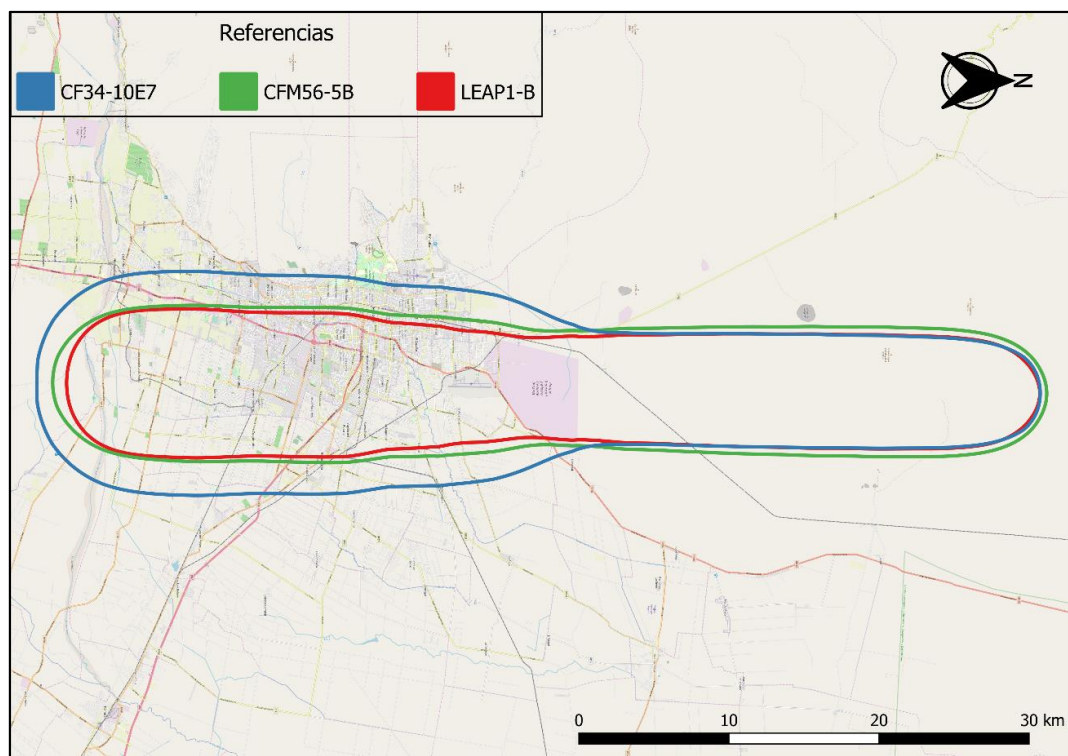


Figura 77. Motor CF34-10E7, hitos operacionales. Fuente: GE Aviation



Mapa 38. Embraer 195-E2 con motor CF34-10E7 – Aterrizaje y despegue Standard – Pista 18 – MDZ

A continuación, se resaltan los límites exteriores (55 dB) de las huellas acústicas anteriores, a fin de observar con mayor detalle la variación del área afectada:



Mapa 39. Embraer 195-E2 - Área alcanzada en función del motor utilizado – Pista 18 – MDZ

Aeropuerto Internacional de Mendoza - Área afectada (65 dB SEL)			
Motor	LEAP1-B	CFM56-5B	CF34-10E7
Área afectada [Km ²]	201	250	320

Tal como puede observarse, el uso del motor LEAP1-B genera un área de afectación acústica de 201 Km^2 , la menor de entre todos los motores bajo estudio. Esto se debe a la incorporación de tecnologías de vanguardia las cuales buscan satisfacer los requisitos económicos y medioambientales cada vez más exigentes. Estas innovaciones tecnológicas incluyen un mayor bypass y relaciones de compresión, nuevos diseños aerodinámicos en distintas piezas y un mayor uso de materiales compuestos. Según el fabricante, esto le permite al motor cumplir con las futuras reglamentaciones dispuestas en el Capítulo 14, Anexo 16 de la OACI [54].

El motor LEAP, se posiciona así, como un digno sucesor de la familia CFM56, cuyo modelo CFM56-5B presenta un área afectada de 250 Km^2 , es decir, un 19,6% más que el primero.

Por otro lado, el motor CF34-10E7, actualmente utilizado en las aeronaves de primera generación de la familia de E-jets, se presenta como el peor de los casos, con un área afectada de 320 Km^2 .

7. Conclusiones

7.1. Generalidades

El empuje económico que suponen los aeropuertos provoca que el crecimiento urbano se aproxime hacia ellos y termine por rodearlos, generando externalidades negativas tanto para las poblaciones que se asientan en sus alrededores, como para la propia actividad aérea.

Este crecimiento urbano hace que la actividad aérea pueda generar un efecto negativo para las condiciones de vida de las personas que residen en los alrededores de la zona aeroportuaria, como consecuencia fundamentalmente de la contaminación acústica.

Asimismo, el desarrollo urbano limita las posibilidades de expansión de la infraestructura en consonancia con el avance de la actividad aérea y expone en ocasiones a la capacidad existente, a restricciones de gestión y uso como consecuencia de la aplicación de medidas de mitigación acústica.

Por ello, la afectación acústica es uno de los efectos ambientales más significativos asociados la actividad aeroportuaria. El aumento del tráfico aéreo y el crecimiento de población en el entorno de los aeropuertos, son dos de los factores que han contribuido a incrementar la problemática social asociada al ruido en la actividad aeroportuaria. De esta forma, el medio ambiente puede llegar a ser, a medio plazo, el principal factor limitador del crecimiento del sector.

La Organización de Aviación Civil Internacional reconoce la contaminación acústica como uno de los principales aspectos ambientales generados a causa de la actividad aérea y específicamente la aeroportuaria, es por ello que desde la Asamblea 33 (2001) a la Asamblea 39 (2016), se ha recomendado la utilización del *enfoque equilibrado* para lograr un máximo de compatibilidad entre el desarrollo seguro y ordenado de la aviación civil y la preservación del medio ambiente.

Uno de los cinco objetivos estratégicos de la OACI, es la Protección al Medio Ambiente [55], dentro del cual se encuentran aspectos como la reducción al mínimo de los niveles acústicos y la protección de la calidad de vida de las poblaciones del entorno aeroportuario. Esto se ha convertido en una de las prioridades para dicha organización.

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo final, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

7.2. Respecto a variables operativas utilizando una métrica DNL

➤ Tipo de procedimiento de despegue

Observaciones:

Al trabajar bajo el escenario de máximo desarrollo aeroportuario, las curvas de ruido correspondientes a un nivel de presión sonora de 65 dB, superan de manera notable los límites de cada aeropuerto.

Conclusiones

De los procedimientos de despegue para la reducción de ruido recomendados por la OACI, el denominado OACI-A resultó ser el más efectivo, en cuanto a disminución de la población afectada, según lo establecido por la FAR150 [1]. En tres de los cinco aeropuertos bajo análisis, a saber, Mendoza, Salta y Río Gallegos; se logró una reducción de la población afectada del 12,9%; 6,9% y 78% respectivamente, en comparación con un procedimiento de despegue Standard.

El procedimiento OACI-A consiste en tratar de ganar la mayor cantidad de altura en menos tiempo, es decir, lograr una tasa de ascenso elevada. Esta maniobra, trae como consecuencia un incremento del nivel de ruido en las zonas cercanas al aeropuerto debido al mayor uso de potencia durante el ascenso.

En caso contrario, el procedimiento OACI-B, prioriza la disminución de los niveles de presión sonora en las cercanías del aeropuerto y, debido a que las curvas de ruido se extienden afectando a un mayor número de radios censales, el número de personas alcanzadas es mayor al procedimiento anterior.

En el caso de los aeropuertos de Mar del Plata y Jujuy, las simulaciones realizadas no avalan la efectividad de ninguna alternativa de reducción de ruido en despegue. Resulta probable que este escenario inusual pueda deberse al hecho de que, si bien la distancia longitudinal de las huellas acústicas disminuye para niveles de ruido de 65 dB, se produce un aumento del ancho de las mismas; con lo cual resulta posible que afecten a radios censales con una mayor densidad de población al estar cercanos al aeropuerto.

Recomendaciones:

Con el objetivo de disminuir lo más posible los niveles de ruido en el entorno de los aeropuertos en función del tipo de procedimiento de despegue de las aeronaves, la implementación de los mismos debe hacerse teniendo en cuenta

las características poblacionales circundantes de cada aeropuerto en particular. La información obtenida mediante estudios similares a éste, debe ser complementada con datos respecto a zonas residenciales, parques industriales, usos agrícolas del suelo, entre otras.

➤ Tipo de operaciones

Observaciones:

En base al análisis de los mapas estratégicos de ruido obtenidos para los aeropuertos seleccionados, resulta extraño pensar que aeropuertos como el de Río Gallegos y Jujuy, los cuales poseen un menor número de operaciones aéreas en comparación con el aeropuerto de Mar del Plata, presenten una mayor proporción de área alcanzada por niveles de presión sonora de 65 dB.

Conclusiones:

Analizando de manera detallada el perfil de operaciones de cada aeropuerto se pudo determinar que las operaciones de las aeronaves, tanto despegues como aterrizajes, tendrán distintos niveles de incidencia en las huellas acústicas del aeropuerto, según éstas se realicen en horarios diurnos o nocturnos. Así pues, si tomamos como ejemplo el caso de dos aeropuertos idénticos los cuales poseen un mismo escenario operativo, es decir, mismo perfil diario de operaciones y mismo número y modelos de aeronaves; si en uno de ellos la totalidad de las operaciones se realizan en horarios diurnos, es decir de 07:00 a 22:00; y, en el otro, solo se realizan en horarios nocturnos, de 22:01 a 06:59; la huella acústica de este último tendrá una mayor superficie, y por ende, alcanzará a un mayor número de personas.

Esto se debe, como se aclaró anteriormente, a la implementación de la métrica DNL para la obtención de los mapas de ruido de cada aeropuerto, recordando que la misma penaliza con una adicción de 10 dB los niveles de ruido provocados por las operaciones nocturnas.

Recomendaciones:

En función de esto, se deben evitar en lo posible las operaciones nocturnas en los aeropuertos o en caso de permitirse, las mismas deben ser restringidas bajo ciertas condiciones, como, por ejemplo:

- ✓ Realizar el despegue evitando sobrevolar los grandes centros de población.

- ✓ Aterrizajes con descenso continuo por pistas preferenciales.
- ✓ Cierre de pistas consideradas críticas.

Se exceptúan de esas restricciones operativas, los vuelos que por razones meteorológicas no puedan cumplir con lo previsto.

➤ **Trayectoria de ruta de despegue**

Observaciones:

Las simulaciones realizadas tomando como referencia al Aeropuerto Internacional de Mendoza, muestran que la trayectoria recta de despegue que se tomó como hipótesis inicial, utilizando la pista 18 definida como crítica, atraviesa el centro de la ciudad de Mendoza. En base a esta situación, se propuso una trayectoria de despegue alternativa.

Conclusiones:

En base a los resultados obtenidos del análisis georreferencial, se pudo determinar que la utilización de una trayectoria alternativa, la cual evita sobrevolar el centro de la ciudad de Mendoza, resulta en una disminución notable de la afectación acústica sobre la población, pasando de 31.599 personas alcanzadas por un nivel de presión sonora de 65 dB, en el caso de una trayectoria recta a solo 7.495 personas, en el caso de esta trayectoria alternativa; es decir, una disminución del 76%.

Recomendaciones:

En base a los resultados obtenidos, se recomienda seguir las reglas y procedimientos indicados por la ANAC, “ENR-1.5 Reglas y Procedimientos Generales - Procedimientos de espera, aproximación y salida”, en los cuales se establece que “Las operaciones se realizarán utilizando pistas y trayectorias de ascenso que en todo lo posible no afecten áreas pobladas o áreas sensibles al ruido”. Estos procedimientos son de cumplimiento obligatorio para todas las aeronaves, en todos los aeródromos y sus proximidades, volando de acuerdo con las reglas de vuelo visual o con las reglas de vuelo por instrumentos, excepto en situaciones de emergencia o cuando existan condiciones adversas de operación.

7.3. Respecto a variables operativas utilizando una métrica SEL

➤ Tipo de aeronave

Observaciones:

En este caso, de las cinco alternativas de reemplazo para el Embraer 190AR, se observa que los niveles de presión sonora, y, por ende, el área afectada aumenta conforme se incrementan las dimensiones de la aeronave. Si consideramos el máximo peso al despegue, se tiene que:

E190AR	E195-E2	A320neo	A320-200	B737-800	B737 MAX8
51.800 Kg	61.500 Kg	78.000 Kg	78.000 Kg	79.010 Kg	82.191 Kg
307 Km2	321 Km2	331 Km2	376 Km2	457 Km2	528 Km2

Figura 78. Área afectada en función del MTOW de cada aeronave

Conclusiones:

Del diagrama anterior, podemos distinguir que, en términos acústicos:

- ✓ Las aeronaves Boeing, tanto el 737-800 como el 737 MAX8 resultan ser las que mayores niveles de ruido generan.
- ✓ Las aeronaves Airbus, a pesar de tener un MTOW similar, la opción de última generación A320neo, la cual emplea motores de mayor potencia y más eficientes e incorpora mejoras aerodinámicas en las alas y el fuselaje, presenta frente a la anterior versión del A320 un consumo 15 % menor, un coste operativo un 8 % más bajo, una reducción del 50 % en emisiones de NOx y un menor impacto acústico, de acuerdo a los datos estimados por Airbus [56].
- ✓ Con respecto al Embraer 195-E2, las mejoras tecnológicas en la segunda versión de la familia E-jets de Embraer, permitieron incrementar en más de 10 toneladas el máximo peso al despegue (el cual es función de la carga útil) sin producir un aumento mayor al 5% del área afectada, con respecto al E190AR.

Recomendaciones:

Si bien la elección, por parte de las aerolíneas, de uno u otro modelo de aeronave responde generalmente a cuestiones económicas, técnicas y operativas; conocer la afectación acústica que tendrá la incorporación de un nuevo modelo a la flota, nos permitirá definir una política de reducción de ruido más eficiente.

En el caso de aquellos aeropuertos que se encuentren inmersos en el tejido urbano de una ciudad o con poblaciones muy próximas a los mismos, se recomienda la utilización de aeronaves las cuales posean la menor dimensión posible, buscando siempre cumplir con una relación de compromiso entre cubrir la demanda de pasajeros, reducir el ruido generado y conseguir que la operación de la misma sea rentable.

A su vez, se debe priorizar el reemplazo de la flota por aeronaves las cuales cuenten con los últimos avances en materia de reducción de ruido.

➤ **Peso al despegue**

Observaciones:

Análisis realizados a un mismo modelo de aeronave, en este caso al Embraer 195-E2, permitieron determinar objetivamente la relación entre la variación de los niveles de presión sonora y el peso de la aeronave al momento de despegar. Esta relación puede aproximarse por medio de una función exponencial.

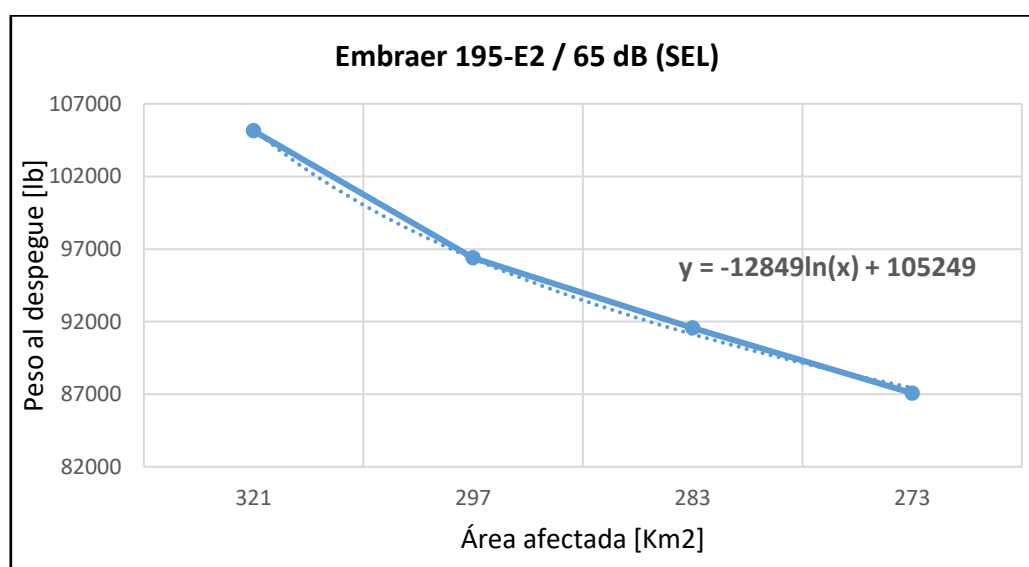


Figura 79. Área afectada en función del peso al despegue - Embraer 195-E2

Conclusiones:

Tal como puede observarse en el gráfico anterior, los niveles de presión sonora y, por ende, el área alcanzada, se encuentran estrechamente relacionados con el peso al despegue de una aeronave. Esto se debe al mayor requerimiento de potencia por parte de los motores para lograr el ascenso.

Partiendo del 80% del MTOW (105.000 lb), una reducción del 8,3% del peso, produce una disminución del área afectada en un 7,3% (24 Km²); una reducción del 12,9%, disminuye el área en un 11,5% (38 Km²) y con una reducción del 17,2%, el área disminuirá 14,9% (48 Km²).

Recomendaciones:

En orden de reducir sus huellas de ruido, los aeropuertos pueden imponer tarifas en función del peso al despegue de las aeronaves. Estas medidas van en detrimento del interés económico de las compañías: a menor peso al despegue, menos carga útil y por ende menos ingresos.

Las aerolíneas por su parte, pueden planificar sus vuelos de forma tal de cumplir con las reglamentaciones dispuestas por los aeropuertos en los que opera. Por ejemplo, despegando con el nivel de combustible necesario para completar un trayecto de ida hacia otro aeropuerto y no con el necesario para cubrir los trayectos de ida y vuelta completos, disminuyendo así los niveles de ruido generados durante el despegue.

➤ **Modelo de motor**

Observaciones:

De acuerdo a los tres modelos de motores analizados, se observa claramente como las mejoras tecnológicas en los motores de última generación, como lo es el LEAP1-B, hacen de éste, uno de los más efectivos en cuanto a reducción acústica se refiere. Entre sus tecnologías se encuentran:

- ✓ Alto índice de derivación.
- ✓ Ciclo termodinámico mejorado.
- ✓ Utilización de materiales compuestos y de menor peso.
- ✓ Cámara de combustión con boquillas de combustible cultivadas mediante fabricación aditiva.
- ✓ Mejoras aerodinámicas de última generación en las palas del fan y distintos componentes.

El menor peso y la mayor durabilidad que proporcionan estas características resultan en una mejora del 15 por ciento en la eficiencia del combustible, con una reducción equivalente en las emisiones de CO₂ y una firma de ruido más baja en comparación con motores de la generación anterior, como es el caso del CFM56-5B y el CF34-10E7 [57].

Conclusiones:

Del presente análisis, podemos posicionar al motor LEAP1-B como el que produce una menor área de afectación acústica, de aproximadamente 201 Km². Esto es un 19,6% menos que la producida por el motor CFM56-5B y un 37% menos, en comparación con el motor CF34-10E7.



Figura 80. Área afectada en función del modelo de motor

Recomendaciones:

La incorporación de aeronaves propulsadas por motores de última generación surge como principal recomendación a tener en cuenta a fin de reducir las huellas acústicas de los aeropuertos en los que operan.

7.4. Conclusiones y recomendaciones integrales

Tomando como referencia la combinación “tipo de aeronave – tipo de motor” que menores niveles de ruido produce, en este caso resultará en una aeronave Embraer 195-E2 equipada con motores LEAP1-B, puede observarse en base a los resultados obtenidos y al análisis anterior que el factor más importante para la reducción de las huellas de ruido es el peso de despegue. Se trata, sin embargo, de una variable difícil de modificar, ya que las aerolíneas deben intentar utilizar el máximo de ocupación en las aeronaves con el fin de que las operaciones representen la mejor rentabilidad. Algunos aeropuertos pueden establecer el cobro de tasas en función del peso al despegue de cada aeronave,

buscando de esta forma penalizar a las aeronaves que mayores niveles de ruido generan al momento de despegar.

A su vez, aeropuertos como Heathrow y Barajas, prohíben los vuelos nocturnos de aviones que no estén por debajo de límites establecidos por dos parámetros: el ruido certificado en aterrizaje y la media del ruido certificado en despegue y lateral. Este sistema penaliza claramente a las aeronaves de mayor tamaño [5].

Por otra parte, se pueden modificar los procedimientos de despegue: aunque estos sean la variable con menor peso en la reducción de ruido, son los más factibles de cambio, ya que no influyen significativamente en la rentabilidad de las aerolíneas y dependen únicamente del organismo regulador. En el caso de Argentina, la planificación, dirección, coordinación y administración del tránsito aéreo corresponden a la Empresa Argentina de Navegación Aérea (EANA), una sociedad del estado bajo la órbita del Ministerio de Transporte de la Nación.

Esta acción, en combinación con la utilización de rutas preferenciales de ruido como la propuesta en el presente trabajo, se posicionan como el primer movimiento en cualquier plan de acción de reducción de ruido en aeropuertos.

7.5. Conclusiones y recomendaciones globales

En base a la información generada mediante estudios similares como el presente, se desarrollarán procedimientos específicos para la reducción de las huellas de ruido de manera particular para cada aeropuerto; se estudiarán a continuación los beneficios que representan y con ello la factibilidad de su aplicación.

Los análisis de este tipo son de primordial importancia para la gestión y manejo de los usos del suelo, además de la cuantificación de los niveles sonoros para verificar la situación con respecto a los admitidos por la legislación pertinente.

Además, dichos resultados deben ser contemplados e incluidos en las normativas nacionales correspondientes a los usos del suelo y en los códigos urbanos locales, para evitar el crecimiento sin control de las manchas urbanas y eventualmente su afectación debido a la contaminación acústica producida por las actividades aeroportuarias. De todas formas, es indispensable tomar medidas tendientes a la reducción progresiva de las fuentes de ruido derivadas de la operación de aeronaves.

8. Bibliografía

- [1] FAA, "Noise Control and Compatibility Planning for Airports - AC 150/5020-1," 1983.
- [2] H. Miedema and C. Oudshoorn, "Annoyance from transportation noise," *Environ. Health Perspect.*, vol. 109, no. 4, pp. 409–416, 2001.
- [3] IATA, "Comunicado No: 55," 2017.
- [4] J. M. Seguí Pons, M. R. Martínez Reynés, and M. Ruíz Pérez, "Ruido y Sostenibilidad Ambiental en el Aeropuerto de Son Sant Joan (Mallorca)," 2007.
- [5] G. A. Rodrigo and A. B. Ruíz de Villa, "El impacto ambiental del transporte aéreo y las medidas para mitigarlo," Madrid, 2012.
- [6] D. de Electrónica, "Sistemas Electrónicos Análogos y Digitales," 2010.
- [7] J. A. Cano Álvarez, "Metodología para el análisis de la dispersión del ruido en aeropuertos, estudio de caso: Aeropuerto Olaya Herrera de la Ciudad de Medellín," Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [8] A. M. Gutiérrez Acosta and D. K. Guzmán Florez, "Calidad del sueño asociado al ruido causado por la operación del aeropuerto el dorado en adultos de las localidades de Fontibón, Bogotá," Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, 2016.
- [9] M. Parra, *Conceptos básicos en salud laboral*. Santiago de Chile: Oficina Internacional del Trabajo, 2003.
- [10] L. de P. Facultad de Ingeniería Industrial, "Niveles de ruido - Protocolo," pp. 1–29, 2007.
- [11] F. Mapfre and J. L. A. Carril, *Manual de higiene industrial*. Madrid: Fundación Mapfre, 1996.
- [12] B. Berglund, T. Lindvall, and D. H. Schwela, *Guís para el ruido urbano*. OMS, 1999.
- [13] U. de Granada, "Medidas de ruido."
- [14] J. L. París and J. L. Pelegrín Duce, "Ruido del tráfico aéreo," 1989.
- [15] E. Suárez Silva, "Acústica ambiental," Universidad Austral de Chile, 2004.
- [16] J. C. Moy Ribera, "Ruido de aeropuertos. Estudio del problema de ruido en el Aeropuerto Jorge Chávez, situación actual y propuestas de solución," Pontificia Universidad Católica del Perú, 2002.
- [17] OACI, "Anexo 16. Protección del medio ambiente," 2014.
- [18] J. G. Acuña Cartes, "Recomendaciones para la evaluación del impacto acústico de proyectos aeroportuarios," Universidad Austral de Chile, 2006.
- [19] International Organization for Standardization, "ISO 1996-2:2017." 2017.
- [20] American National Standard, "ANSI S12.9-2005/Part 4. Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound – Part 4: Noise Assessment and Prediction of Long-term Community Response," 2005.
- [21] T. J. Schultz, "Synthesis of social surveys on noise annoyance," *J. Acoust. Soc. Am.*, 1978.
- [22] S. Fidell and D. S. Barber, "Updating a dosage–effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise," *J. Acoust. Soc. Am.*, 1991.
- [23] L. S. Finegold, C. S. Harris, and H. E. Von Gierke, "Community Annoyance and Sleep Disturbance: Updated Criteria for Assessing the Impacts of

- General Transportation Noise on People,” 1993.
- [24] M. Henk and V. Henk, “Exposure-response relationships for transportation noise,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 1998.
- [25] P. D. Schomer, Y. Suzuki, and S. Fumitaka, “Evaluation of loudness-level weightings for assessing the annoyance of environmental noise,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 2001.
- [26] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - OACI, *Manual-Guía De Protección Ambiental Para Aeropuertos*, Primera ed. 1999.
- [27] S. C. Rivera Garzón, “Propuesta de alternativas de gestión para controlar los niveles de ruido generados por el funcionamiento del Aeropuerto Internacional El Dorado,” Pontificia Universidad Javeriana, 2008.
- [28] B. Berglund, T. Lindvall, and D. H. Schwela, “Guidelines for community noise.” World Health Organization, 1999.
- [29] National Institute on Deafness and Other Communication Disorders, “Pérdida de audición inducida por el ruido,” *Departamento de salud y servicios humanos de los EEUU*, p. 4, 2014.
- [30] G. D. Capaldo and H. A. Gómez, *Aspectos de Derecho Aeronáutico*, Primera. 2012.
- [31] European Environment Agency, EASA, and Eurocontrol, “European Aviation Environmental Report,” 2016.
- [32] ICAO, “Procedures for Air Navigation Services - Aircraft Operations,” vol. I, no. October, 2006.
- [33] G. Wilfredo, “Seminario Conjunto OACI-ACI / LAC Sobre Ambiente y Peligro Aviario - Exposición al Ruido de Aviones y su Impacto en el Uso,” 2001.
- [34] NASA, “NASA Helps Create a More Silent Night.” [Online]. Available: https://www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/bridges_chevron_events.html.
- [35] B. Burnett, “A Boeing-led team is working to make quiet jetliners even quieter,” 2006. [Online]. Available: http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2005/december/ts_sf07.html.
- [36] G. I. Rodríguez, “Algoritmo de cálculo de rutas óptimas para aeronaves en el plano horizontal,” Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.
- [37] A. I. Carmona, *Aerodinámica y Actuaciones del Avión*, 10a ed. 2007.
- [38] P. Captain Boone, “Noise Abatement Procedures,” 2006.
- [39] M. J. T. Smith, *Aircraft Noise*. Cambridge University Press, 1989.
- [40] FAA, “Approaches and Landings,” in *Airplane Flying Handbook*, 2016.
- [41] FAA, “Metric in Predicting Noise Impact . Technical Discussion.”
- [42] F. Office of Environment and Energy, “Noise and Noise-Compatible Land Use,” in *1050.1F Desk Reference*, no. July, 2015, pp. 1–19.
- [43] ICAO, *Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports*. 2008.
- [44] M. Coppa, L. Movsesián, L. Vanoli, L. Sznajderman, and A. Di Bernardi, “Criterios de planificación del entorno aeroportuario según mapas estratégicos de ruido aeronáutico.”
- [45] INDEC, “Población estimada 2010-2025, Provincia de Jujuy.” [Online]. Available: <https://www.indec.gob.ar>.
- [46] Planespotters.net, “LATAM Airlines Chile Fleet Details and History,” 2019.

- [Online]. Available: <https://www.planespotters.net/airline/LATAM-Airlines-Chile>.
- [47] LATAM, "Vamos LATAM," *Febrero*, 2017.
- [48] boeing.es, "La nueva gama Boeing 737 MAX: Eficiente, fiable y atractiva." [Online]. Available: <https://www.boeing.es/productos-y-servicios/commercial-airplanes/737max.page>.
- [49] OACI, "La Aviación Civil y el Medio Ambiente - A39-WP/51," 2016.
- [50] pwtgf.com, "PW Geared Turbo Fan." [Online]. Available: <https://pwtgf.com/>.
- [51] CFM International, "CFM56." .
- [52] C. International, "CFM56-5B." .
- [53] GE Aviation, "CF34-10E Turbofan Propulsion." Cincinnati.
- [54] CFM International, "LEAP Engine." .
- [55] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Strategic Objectives." [Online]. Available: <https://www.icao.int/about-icao/Council/Pages/ES/Strategic-Objectives.aspx>.
- [56] Airbus, "A320neo Family," 2011.
- [57] C. International, "LEAP Engines Technologies." [Online]. Available: <https://www.cfmaeroengines.com/engines/leap/>.